

2017年水环境科学热点回眸

程荣, 石磊, 郑祥

中国人民大学环境学院, 北京 100872

摘要 2017年水环境科学领域的研究进展依旧可圈可点。本文以发表在国际顶级学术期刊或具有重要影响的研究成果为基础,按照水体类型的不同,从河流和流域、湖泊(水库)、海洋、地下水、冰川、湿地等天然水体以及水处理技术等几个方面,盘点了2017年水环境学领域的重要研究进展,为从整体上掌握水环境学的发展动态提供参考。

关键词 水环境学;海洋;湖泊;河流;地下水

水是生命之源,是人类赖以生存和发展的不可缺少的重要物质资源。地球上的水通过蒸发、冷凝、降水等过程进行自然循环,同时也通过人类的取水、用水、排水等过程进行社会循环。尽管地球上水的总量丰富,但96.5%分布在海洋,淡水只有3500万 km^3 左右。若扣除无法取用的冰川和高山顶上的冰冠,以及分布在盐碱湖和内海的水量,陆地上淡水湖和河流的水量不到地球总水量的1%。而这些可直接利用的淡水资源分布极不均匀,世界上许多国家和地区存在着淡水资源紧张的情况,不少国家和地区不惜成本昂贵,设立海水淡化装置或采取其它措施来缓和淡水供应矛盾。

天然水源包括河流、湖泊、沼泽、冰川、地下水、海水等,不仅供给人类使用,也是大量水生生物的栖息地。同时,这些天然水体也是人类生产生活所产生废水的容纳场所,尽管废水往往经过了一定的处理,但其排放仍然严重影响受纳水体的水质。随着经济社会的迅速发展,人类活动带来了广泛的水污染,目前水环境已进入大范围生态退化和复合性环境污染的新阶段。

尽管水资源是可再生资源,基于人类对水资源的需求,水量和水质成为水资源的两大核心要素,也是当

前人类社会所面临的重要问题。随着水资源短缺和水污染日益严重,人们对于水环境的关注日益密切,对于水环境问题的解决愈加迫切。本文以2017年度发表在国际顶级学术期刊或具有重要影响的研究成果为基础,结合新闻报道,盘点2017年水环境学领域的重要研究进展,以期从整体上介绍水环境学的发展动态。

1 河流和流域

1.1 河流中的水生生物

河流是水生生物的栖息地,水生生物的生存状态和生理生化特征亦能指示河流的健康状态。随着河流水资源利用和污染的加大,多数河流都出现了不同程度的水生生物多样性降低和水生生物栖息地退化等问题。浮游生物作为水中食物链的最基础一环,对于水生生态系统功能维系具有关键作用。为了明确水质污染对河流生态系统的影响,中国科学院生态环境研究中心战爱斌研究组分别在单条河流和流域两个不同地理尺度上,深入研究了污染河流中浮游生物群落的空间分布格局及其驱动机制^[1-2]。

收稿日期:2017-12-28;修回日期:2018-01-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51778618)

作者简介:程荣,副教授,研究方向为环境纳米技术,电子信箱:chengrong@ruc.edu.cn

引用格式:程荣,石磊,郑祥. 2017年水环境科学热点回眸[J]. 科技导报, 2018, 36(1): 176-188; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.01.018

战爱斌团队分别以潮白河和海河流域为研究对象,对河流代表性样点的浮游生物群落及水质参数进行了系统分析。一般认为,决定河流浮游生物群落多样性空间分布的两个重要作用因子是基于生态位理论的“环境选择作用”和基于中性理论的“扩散作用”。战爱斌研究组对于两个地理尺度的研究均表明与水体污染相关的环境因子是影响群落空间分布格局形成的关键因素。研究在流域尺度上证实了“环境选择作用”假说,但在单条河流尺度上否定了“扩散作用”假说,修正了前人关于“小尺度上扩散作用是影响群落空间格局形成的主要作用力”的结论,提出“在污染河流中,水体污染形成的环境梯度是决定浮游生物群落空间格局形成的主要驱动力(即小尺度环境选择作用假说)”。

除人为干扰外,环境因素是影响水生生物生存特征的另一重要因素。一般认为,山川、河流等地理特征会隔绝动物种群,最终形成新物种,但湍流一般不会被认为有这样的环境。然而,进化生物学家研究发现,世界上最大、最致命的湍流也是生命孕育的摇篮,非洲刚果河的下游可能孕育了若干种新鱼类物种^[3]。他们在刚果印加急流和附近水域中捕捉了约50条岩栖鱼类丽鱼科鱼,对其形态差异进行了分析,并对其2%的DNA进行了测序,确定了4个新物种的存在,并认为似乎至少还有2种其他物种。

1.2 内流河流域无机碳汇被估算

干旱半干旱地区占陆地表面面积的47%,在全球碳循环中扮演着重要角色,被认为是全球陆地碳预算的重要组成部分。内流河流域约占全球陆地面积的21%,大多分布于干旱、半干旱区,对气候变化和环境改变极度敏感。由于其拥有相对封闭的地理条件和一个相对独立和完整的碳循环系统,内流河流域是研究区域陆地碳循环过程和区域环境演变情况的理想对象。石羊河流域是中国3大内陆河流之一,有着深厚的环境演变研究基础,过去全球变化研究已经在流域不同位置上展开。

兰州大学李育研究团队以石羊河流域中全新世8个沉积剖面共计584个矿物成分分析数据、132个总碳酸盐含量数据和92个radiocarbon/OSL测年数据为依据,提出“终端区域评价模式”,定量计算石羊河流域中全新世无机碳库,并在此基础上,配合流域千年尺度环境定量重建结果,验证了石羊河流域有机碳库与无机碳库的相对重要性^[4]。在充分了解石羊河流域长时间

尺度碳循环过程和无机碳库大小的基础上,他们进一步选取全球不同位置49个内流河流域,根据其终端湖面积和湖水理化性质,通过定义权重系数来计算不同类型湖泊(碳酸盐型、硫酸盐型和岩盐型)无机碳库占全球内流河流域无机碳库的比例;最后运用“终端区域评价模式”,通过计算全球内流河流域总面积和全球不同类型11个内流河流域终端湖中全新世无机碳含量和现代无机碳沉积速率,定量估算了全球内流河流域全新世千年尺度和现代无机碳库大小,并评估了其在全球碳循环中的重要性。该研究对于确立现代全球碳预算,理解和预测未来碳循环与气候、环境演变相互关系具有重要意义。

1.3 水利工程对流域的影响

人类对水资源的利用离不开水利工程,世界范围内大大小小的水电站展示着人类利用水力的足迹。不过,近年来关于水利工程对流域生态系统影响的争论未曾止歇。一方面,建造大坝以生产水电可以带来潜在的环保效益,但另一方面又可能对河流生态系统造成巨大的破坏,这样做的收益是否能超过成本?

美国德克萨斯大学奥斯汀分校的Edgardo Latrubesse团队设计了一个新工具来量化整个亚马逊河流域中已建和计划修建的大坝的当前环境影响和预期环境影响^[5]。该流域已修建28座大坝,还计划继续修建90座大坝。他们的分析以当前和未来的大坝数量为基础,强调了不同河流区域所受影响的不同,并且探讨了含沙水流变化对河流系统构成的隐患(图1)。评估认为,亚马逊河流域的大坝对当地河流系统造成了严重

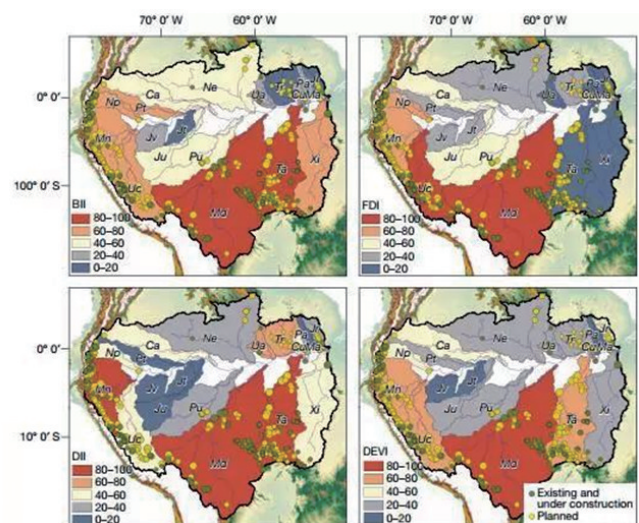


图1 亚马逊河各流域对于现存、在建和计划修建大坝的脆弱指数^[5]

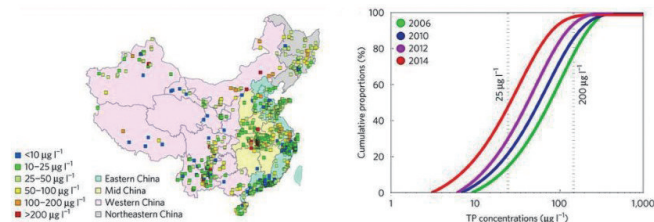
的负面环境影响,进一步修建规划中的大坝可能还会扩大这种影响的规模和复杂度。该研究以视角文章发表在《Nature》上。

2 湖泊(水库)

2.1 中国湖泊磷污染下降

半个世纪以来,富营养化问题导致的湖泊水华爆发在世界范围内频频发生,给水环境和水生生态系统带来了严重威胁。尽管富营养化可能在湖泊中自然发生,但人为排放营养物(氮、磷)明显加重了全球范围内的富营养化现象。近年的研究认为,磷元素是水体富营养化现象最重要的制约因子。

天津大学童银栋与挪威水研究所林岩团队分析了2006—2014年间中国862个湖泊的水化学数据,以及磷来源和磷流入的省级数据^[6]。结果发现,磷浓度中值大致降到了可导致富营养化的浓度阈值,重度污染的湖泊数量减少了2/3(图2^[6])。该研究结果发表于《Nature Geoscience》,表明在2006—2014年间,中国湖泊的磷污染下降了逾1/3;中国政府于2000年推出的治理水污染政策协助降低了城市地区与磷污染有关的水华风险,其中主要的驱动因素是公共卫生改善和污水减少,但在一些欠发达地区,湖泊的磷浓度上升了,原因还不确定,但也有可能是受到了森林退化和侵蚀的影响。



(a) 2014年磷年平均总浓度 (b) 4个年份磷总浓度的累积比

图2 2006—2014年中国862条淡水湖磷总浓度的变化

在相应的新闻与评论文章中,美国威斯康星大学麦迪逊分校的Jessica Corman写道:“林岩及同事的分析表明,中国在保护湖泊方面取得了一些良好的进步。”

2.2 武汉东湖浮游细菌生态学规律被揭示

浮游细菌作为淡水湖泊最为丰富的微生物类群,在水生生态系统生物地球化学循环中具有极其重要的作用,整个淡水生态系统中的物质和能量循环几乎完全依赖于浮游细菌的作用。武汉东湖是湖泊生态学研

究领域有代表性的湖泊之一,中国科学院水生生物研究所研究员余育团队长期从事武汉东湖浮游生物生态学的研究^[7-8],2007年以来聚焦浮游细菌群落的时空格局及生态学驱动过程,通过高通量扩增子测序及系统进化分析等对东湖5个主要湖区的浮游细菌进行了近10年的系统研究,相关研究成果发表于《Molecular Ecology》^[9]。

结果表明,东湖浮游细菌群落在长时间尺度上的季节演替主要受制于决定性的生态学过程,即强的均匀选择下伴随一定的扩散限制。这说明当群落发生演替时,生态相似和关系较近的物种可以相互替换,预示着季节内部存在明显的功能冗余或者至少是生态冗余。然而,环境选择(如温度、营养等)和生物互作(如捕食、共生等)使得不同季节之间的浮游细菌显著不同,主要是因为不同季节的环境条件提供了不同生态位;而同一季节由于生态条件比较相似而形成了类似的浮游细菌群落,最终表现出明显的季节性规律。这种变化也暗示了环境对浮游细菌群落具有较强的控制作用,从而有可能通过生态学过程模型来预测生态系统的变化趋势。

2.3 淡水环境微塑料污染状况获得数据

自20世纪50年代开始大规模生产以来,全球塑料生产有了快速增长,其产量超越了许多其他人造材料。美国加州大学圣塔芭芭拉分校Roland Geyer团队在《Science Advances》发表论文报道,到2015年,人们产生了近83亿t塑料,其中63亿t变成垃圾,而这其中,只有9%被回收,12%被焚烧(即用燃烧或高温分解等加热方式处理),79%则积聚在垃圾填埋场或环境中^[10]。如果这种趋势继续下去,到2050年,人们会产生约260亿t塑料垃圾,其中超过1/2会被丢弃到垃圾填埋场或环境中。

塑料给人们生活带来极大便利的同时,也带来了严重的环境污染问题。塑料制品在陆地和水生环境中解体后,最终形成数以百万计的小塑料颗粒,其中尺寸小于5 mm的颗粒被定义为微塑料。微塑料形体微小,易被生物吞食,也是环境污染物和病原微生物的传播载体。目前,国内外关于微塑料污染的研究主要集中在海洋环境,而淡水微塑料污染数据相对匮乏。

中国科学院武汉植物园王俊团队分别调查了武汉湖泊群和三峡库区的微塑料污染状况,结果发现:武汉湖泊中微塑料污染程度存在明显的空间变化,水体中

微塑料丰度由城市中心湖泊向外围湖泊递减,这证实了人为因素对微塑料在市内湖泊分布中的重要影响^[11-12]。对三峡库区表层水体和沉积物中微塑料污染的调查结果显示:在水样中,城市地区微塑料污染更为严重;在沉积物中,污染最严重的则是农村地区(图3^[21])。与低密度微塑料相比,高密度的微塑料更容易从水体沉淀到沉积物中。另外,拉曼光谱定性分析检测到了几种微塑料吸附的污染物(如有机溶剂、医药中间体),对于深入了解微塑料在内陆淡水系统中的污染水平提供了重要的参考数据。

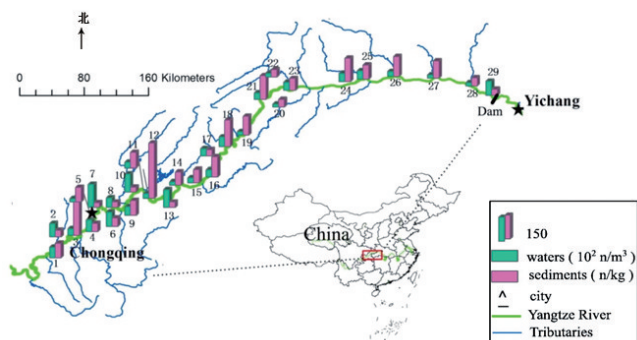


图3 三峡库区微塑料的空间分布和采样点地理位置

2.4 POPs气-水交换及生物富集传递过程取得进展

持久性有机污染物(POPs)作为一类具有长期残留性、生物累积性、半挥发性和高毒性的物质,能够通过长距离迁移对人类健康和环境带来严重危害。“全球蒸馏效应”解释了其从热带地区向寒冷地区迁移的现象,在全球变暖背景下 POPs 的“源-汇”关系也在发生变化,温度升高将促使残留于环境中的 POPs 通过挥发再次释放。青藏高原是气候变化的敏感地区,过去几十年来经历了快速变暖。那么,青藏高原是否仍是 POPs 的冷富集区,还是将成为污染物的“二次源”?

中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心、青藏高原研究所王小萍团队在青藏高原湖泊的 POPs 气-水交换研究获得进展,相关成果发表于《Atmospheric Chemistry and Physics》^[13]。该团队以纳木错湖为研究对象,开展了大气和湖水的协同观测。结果发现,纳木错大气和湖水中有有机氯农药(OCPs)的浓度较低,而多环芳烃(PAHs)浓度较高,这与当地的生物质燃烧有关。气-水交换的结果表明,纳木错仍是 OCPs 和大分子 PAHs 的“汇”,是小分子 PAHs 的“二次源”。其中,菲(Phe)作为纳木错大气中丰度最高的 PAH 化合物,其交换方向存在较大的季节性差异:湖泊在 7 月至次年 4 月

为 Phe 的“汇”,而在 5 月转变为 Phe 的“二次源”。这很可能与湖冰季节性的冻结与消融有关。而当地 PAHs 的不断排放与沉降可能成为贫营养湖泊的重要碳源。该研究对于明晰青藏高原在 POPs 全球循环和归趋中的作用具有重要意义。

中国科学院南京地理与湖泊研究所陶玉强团队则目光放在了 POPs 在湖泊浮游生物网中的富集与传递过程^[14]。他们以南京市玄武湖及在中国湖泊中广泛存在的多环芳烃为研究对象,通过 2013 年 12 月至 2015 年 2 月对玄武湖 33 次的连续监测,以及同时期对南京市各月各旬气温、降雨量、光照等资料的收集、整理,发现温度而非营养水平驱动了年时间尺度下玄武湖藻类及浮游动物(枝角类及桡足类)的生物量;降雨显著增加了玄武湖水体多环芳烃的浓度以及悬浮颗粒物的浓度,因此驱动了水体多环芳烃的赋存状态;受温度调控的生物稀释效应驱动了多环芳烃在藻类及浮游动物体中的富集;温度驱动了多环芳烃从藻类向浮游动物的传递。该研究表明温度及降雨而非营养盐是驱动 POPs 在亚热带典型富营养化浅水湖泊浮游生物网中富集及传递的驱动因子,补充了对 POPs 在亚热带富营养化浅水湖泊中富集及传递的认识。

3 海洋

3.1 气候变暖将对海洋产生巨大影响

全球地表温度升高速率在 1998 年之后略有减缓,引起了国内外关于“全球变暖停滞”的争论。中国科学院大气物理研究所成里京团队通过对比“地表温度增暖减缓时期”(1998—2012 年)及前一阶段(1983—1998 年)不同海盆海洋热含量的相对变化,发现海盆间存在明显的热量重新分配^[15]。自 1998 年以来,各个海盆对全球海洋热吸收的贡献相当,并未表现出某个海盆的主导地位。目前关于各个海盆对增暖减缓重要性的争论,一方面与热含量计算深度的选择有关,另一方面则源于不同资料间的差异。研究成果显示,尽管不同资料间存在差异,但在多年代际尺度上全球海洋在持续增暖,且自 1998 年后全球变暖在加速。

那么,全球变暖会产生什么样的影响呢?英国南极考察局和史密森尼环境研究中心的 Gail Ashton 和同事采用“迄今为止最现实的海洋变暖实验”研究了南冰洋海床变暖 1~2℃对海洋生态系统的影响^[16]。结果表

明,在温度升高1℃的情况下,苔藓虫开始发展。最后,这一物种将“占领”整个生态体系,并在2个月内导致物种多样性和均衡性下降。此外,一种海生蠕虫的尺寸会增加70%。这表明未来全球变暖产生的影响可能远超人们预期。

随着地球变暖,既有赢家也有输家。全球变暖引起的海平面温度上升导致热带珊瑚礁发生严重的白化事件,这种破坏对这些脆弱的生态系统可能产生致命的影响。1980年,人们第一次记录大规模珊瑚礁白化事件。在此之后,海洋温度上升已使大堡礁发生了3次大规模白化事件(图4^[17])。受2015—2016年厄尔尼诺事件中的创纪录高温驱动,大堡礁在2016年发生了最严重的白化事件,导致90%以上的珊瑚发生白化。澳大利亚詹姆斯·库克大学Terry Hughes团队评估了1998年、2002年和2016年大堡礁发生的3次重大白化事件中海水温度的空间分布规律^[17]。针对大堡礁过去20年情况的详细分析显示,极端高温是造成大规模白化事件的主要动因。随着温度持续上升,还有可能发生进一步的白化事件,这或导致珊瑚礁系统陷入不可恢复的境地。

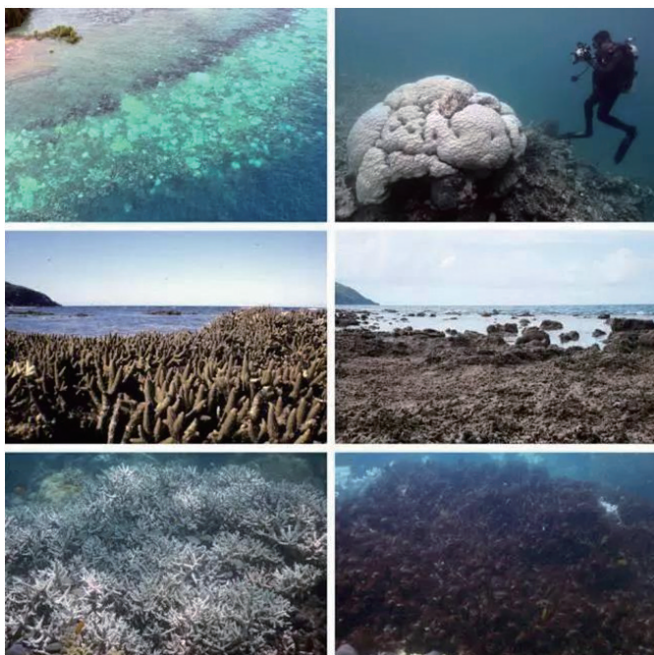


图4 白化事件反复发生

无独有偶,西澳大利亚大学Thomas DeCarlo、美国伍兹霍尔海洋研究所Anne Cohen团队也记录了2015年6月厄尔尼诺事件中国南海海平面温度上升2℃的后果^[18]。这种短期的温度升高现象本身不太可能对该区

域的珊瑚礁造成大范围破坏,但是作者发现,异常高压系统降低了南海北部的风速和海面浪高,使海平面温度变异值在2℃的基础上再升高4℃。他们还发现,在6—7月之间的6个星期里,南海北部东沙环礁的珊瑚死了33%~40%。

此外,德国亥姆霍兹海洋研究中心科学家在《Nature》上发表研究称,在过去50年中,全球海洋氧含量下降了2%以上^[19]。氧气对于陆地生物来说必不可少,对于海洋中的绝大多数生物来说同样如此。但是,气候变暖可能导致氧溶解度下降、深海空气流通减弱,从而造成海洋溶氧量全面下降。溶解氧减少可能会影响海洋养分循环和海洋生物的栖息环境。研究者搜集了全球范围内所有可获取到的海洋历史氧气数据,加上当前的氧含量观测数据,勾绘出整个海洋的氧含量分布及变化。研究发现,除少数几个区域外,在过去50年中全球海洋的氧含量水平均在下降,其中北太平洋地区氧含量下降最大。

3.2 海洋酸化对海洋生物的影响

海洋是人为排放CO₂的最大的“汇”,工业时代以来吸收了近40%的CO₂排放。有研究显示:海洋环流变化是改变其CO₂吸收的主要驱动力,研究通过量化年代际海洋环流平均变化及预测其对CO₂吸收的影响,发现继续减弱的上层海洋翻转环流或能在不久的将来增强海洋CO₂汇,但最终可能限制海洋对人为排放CO₂的吸收^[20]。

海水从大气中吸收CO₂的增加造成了海洋酸化,这将影响海洋生态系统的演化。科学家正在努力辨别哪些物种将最受影响。桡足类动物尤其关键。以质量计,这些微小的甲壳类动物是地球上最丰富的动物。它们在部分海洋地区大量聚集,较大型动物则以其为食。桡足类动物发生的变化将影响所有依赖它们的生物。此前研究发现,桡足类动物对海洋酸化具有相当的抵抗力。不过,它们大多数聚焦的是单个物种,因此群落水平的影响可能被忽略了。美国犹他州立大学Edd Hammill团队从澳大利亚附近的海域收集了浮游动物以及它们的胶状捕食者之一——箱形水母^[21]。他们将浮游动物放在水箱中,其中含有普通海水或者酸度达到2100年预测水平的海水。随后,将箱形水母放到1/2水箱中。10天后,研究人员计算了能幸存下来的浮游动物数量。结果发现,海水酸化和箱形水母均减少了桡足类动物的数量,但两者共同导致的浮游动物

死亡数量比单独导致的死亡数量之和多 27%。其中,箱形水母会吃得更多:它们吞食了含有普通海水的水箱中近 37% 的桡足类动物,但在酸化海水中,这一比例达到近 83%。研究者认为,酸化的海水使桡足类动物变得虚弱,从而使水母乘虚而入,而水母贪婪的食欲会对海洋生态系统产生巨大影响。

另有研究者采用远离太平洋海岸的加利福尼亚洋流生态系统复杂模型评估预测未来 50 年海水 pH 值下降 0.2 个单位对生物和渔业的影响^[22]。结果显示,未来 pH 下降最显著的直接影响可能是无脊椎动物(蟹、虾、底栖食草动物、底栖腐生生物、双壳类);对一些底层鱼类,鲨鱼和无脊椎动物(Dungeness crab)亦有强烈的间接影响,因为它们捕食已知对 pH 变化敏感的物种;对于一些大洋性生物群落,包括海洋哺乳动物和海鸟,受未来 pH 值的影响要小得多。由于人口生产率高(如桡足类,翼足类),一些功能性种群受到的影响要小于文献中实验研究所预期的结果。模型结果表明:降低 pH 值对近岸国家管理的无脊椎动物渔业具有强烈影响,但对底栖鱼渔业的影响中等,因为单个底栖鱼类物种对 pH 变化表现出不同的反应。

厦门大学史大林团队亦研究了海洋酸化对固氮蓝藻(cyanobacterium *Trichodesmium*)的影响,研究发现:海水酸化引起胞浆 pH 降低,会提高固氮蓝藻固氮酶的浓度但降低固氮效率;在缺铁环境中由于不能获得更多类囊体膜离子泵和三磷酸腺苷进而加剧酸化的影响,导致固氮效率更低^[23]。

3.3 最深海沟生物体内发现严重污染

地球目前最深海沟之一是马里亚纳海沟,其地处北太平洋西部海床,据估计已形成 6000 万年,海沟最深处在斐查兹海渊,为 11095 m,也是目前整个地球的最深点;而另一个深海沟——克马德克海沟位于南太平洋,最深处也有 10047 m。这类深海区域尤其是人类无法涉足的海沟深处,一直“无污染”。

来自阿伯丁大学、纽卡斯尔大学和詹姆斯赫顿研究所的研究人员对采集自太平洋马里亚纳海沟和克马德克海沟的甲壳动物样本进行了检测^[24]。结果表明,在这些甲壳动物的脂肪组织中发现了极高水平的持久性有机污染物(POPs),包括常用作电介液的多氯联苯(PCB),以及常用作阻燃剂的多溴二苯醚(PBDE)。据推测,这些污染物可能通过沉入海底的受污染塑料碎片和动物尸体进入海沟,然后被甲壳动物食用,最终污

染物在深海生物的食物链中不断传递累积。

在论文随附的新闻与评论文章中,澳大利亚新南威尔士大学凯瑟林·达夫隆认为,该团队用明确的证据证明深海并非真正意义上的偏远,而是与地表水有高度联系的,其现在已经暴露在了大量人类产生的污染物中。

3.4 海草可将有害细菌数量减半

植物对于城市环境中病原体的去除和水环境质量的提高具有重要意义。美国康奈尔大学 Joleah B. Lamb 团队在印尼西海岸离岸水域 Spermonde 群岛中的 4 个岛屿上发现了一种共有肠道细菌(肠球菌)比美国环境保护局提出的岛屿近岸水域建议暴露水平高 10 倍,但在海床长满稠密海草的水域,肠球菌的水平则降低至 1/3;随着深度增加,在海草草甸附近,危害人类和水生生物的数十种细菌性病原体数量减半(图 5)^[25]。研究人员利用 16S RNA 基因测序技术评测了海草草甸的杀菌能力,结果显示海草草甸可减少 50% 的潜在病原菌。

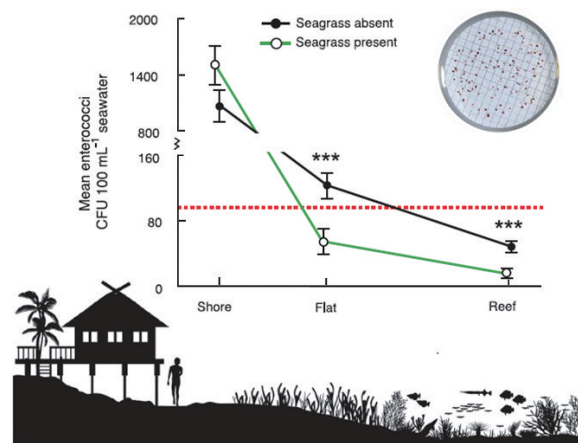


图5 海草影响肠道指示菌的生存

另外,附近珊瑚似乎也能从海草中受益。在调查了 8000 多个造礁珊瑚后,研究人员发现,在有海草草甸的水域种致死性珊瑚疾病流行性减少了 50%。但科学家尚不能完全确定海草是如何有效战胜疾病的,但一个可能性是它们将富营养沉淀物聚集在海床,从而有效地阻断了有害微生物摄取营养。

3.5 石油勘探用气枪会杀死浮游动物

一项发表于《Nature Ecology & Evolution》的研究表明,在海底寻找新的石油储备所使用气枪产生的地震声波冲击,会杀死大片浮游生物,从而使海洋散布着浮游生物的洞穴^[26]。

气枪会向水中释放压缩空气,从而产生声波冲击。声波从海底反弹回来,提供了关于石油是否存在

的信息。此前研究发现,这种气枪会引发鲸、海豚和巨型乌贼的行为改变以及听力丧失,从而损伤其寻找食物和交流的能力。

澳大利亚科廷大学 Robert McCauley 团队首次证实,这种噪音还会杀死在水中游动的微小动物——浮游生物。该团队调查了在塔斯马尼亚岛东南沿海附近发射气枪前后 1 h 的浮游动物种群数量。他们发现,冲击声波在浮游动物种群中创建了一个 2 km 宽的“洞”。在这个区域内,浮游动物丰度下降了 2/3,死亡的浮游动物数量则增加了 2 倍多。

4 地下水

4.1 地下水影响东非裂谷系古人类演化

东非裂谷系代表了一个活跃的大陆裂谷,它是智人演化的关键地点,目前非洲在其作用下正在不断分裂。之前人们假设该地区的人族演化和扩散完全依赖于气候变化,不过并不了解当气候变得极其干旱时,哪里有淡水来源,古人类可以通过什么方式、在什么地方度过气候干旱时期并扩散开来。

英国卡迪夫大学 Mark Cuthbert 团队绘制了东非裂谷系目前的水文地貌,识别了 450 多处泉水,由此建立了一个地下水分布随气候变化而变化的模型^[27]。他们将这些数据和模型与古人类迁徙模型关联起来,发现在干旱时期地表水匮乏的地区,地下水可用性对维持其中孤立的栖息地具有至关重要的作用(图 6^[27])。因

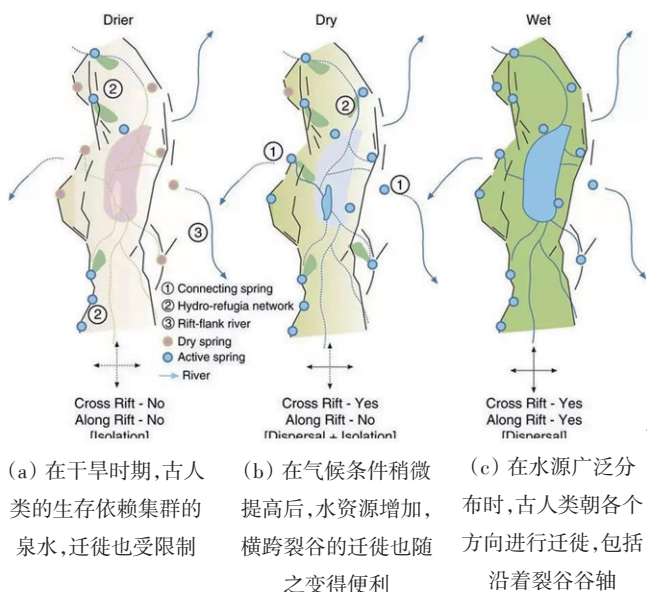


图 6 地下水可用性对维持其中孤立的栖息地具有至关重要的作用

此,地下水资源可能促使东非裂谷系古人类的扩散和生存发生了意想不到的变化。

4.2 进口粮食作物威胁地下水资源

在主要的粮食生产地区,蓄水层正在快速减少,原因主要是人们抽水灌溉。图 7 给出了全球地下水资源因农业灌溉消耗承受的压力。这种情况既影响本地的粮食生产可持续性,也通过国际粮食贸易影响全球的粮食生产可持续性。关于国际粮食贸易对地下水耗竭的详细影响人们知之不多,英国伦敦大学学院 Carole Dalin 团队采取了相关措施来尝试量化这一关系^[28]。

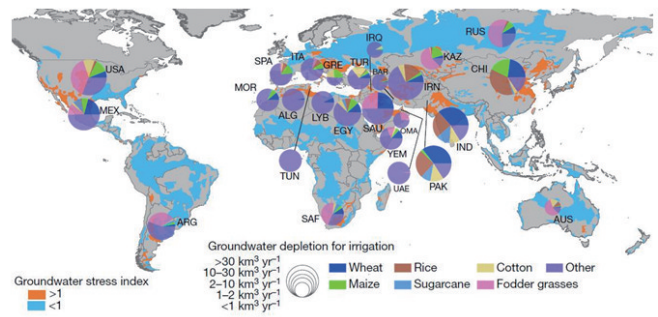


图 7 全球地下水资源因农业灌溉消耗承受的压力

该团队发现,大约 11% 的非可持续性地下水抽取与粮食贸易相关,而巴基斯坦、美国和印度的粮食出口总量占全球粮食贸易所耗地下水抽取的 2/3,这些国家的出口产品主要为水稻和小麦作物。研究认为墨西哥、伊朗、中国和美国的粮食和水危机风险居于高位,因为它们既生产粮食,又进口那些利用正在快速消耗的蓄水层进行灌溉而生产的粮食。

研究表明,就全球绝大多数人口所在国家所消费的大部分进口粮食作物而言,生产这些作物的地区过度利用了地下水资源。鉴定正在耗尽地下水供应的国家、作物和粮食贸易关系或有助于推动提高全球粮食生产与地下水资源管理的可持续性。

4.3 古地下水亦会受到人类活动污染

全球地下水为数十亿人提供了饮用和灌溉用水。一些地下水较为年轻,易受污染和气候变化的影响。但相较而言,更多的地下水年龄较大,在地表下储藏了数千年之久。可持续地开采年龄较大的地下水更为困难,但这些地下水基本不受气候易变性的影响;此外,人们此前还普遍认为它们也不会受到人类活动的污染。

加拿大卡尔加里大学 Scott Jasechko 团队测定了取

自全球 6000 多口水井的地下水的年龄^[29]。他们发现,所谓的古地下水(储藏时间超过 12000 年的地下水)占地壳上部含水层总储量的 42%~85%,超过 250 m 深的水井泵取的地下水也绝大部分都是古地下水。然而,作者在他们分析过的半数以上的水井中探测到了氡(氢的一种放射性同位素)。他们指出,这一点非常重要,因为氡是在 20 世纪 50 年代的核试验中蔓延到全球范围的,它的存在表明,这些水井的地下水中,至少有一些的年代在 1950 年之后。

这些发现表明,水井中的古地下水往往会与更年轻的地下水、以及它们携带的污染物混合起来,这一过程可能是在水井中发生的,也可能是在含水层中就发生了。作者的结论是,由于老地下水的循环周期是数千年,人类对这一重要水源的污染都将在人类时间尺度上持续下去。因此,大部分可使用深井开采的地下水年龄都较大,但仍然易受到现代污染。

5 冰川

5.1 冰川的供水价值

人们一般将冰川视为一种有价值但并非不可或缺的水源。亚洲高山区域有着全球最高的高山冰川密度。8 亿人口至少在一定程度上依赖于这些冰川的融水。冰川融水有助于避免极端缺水情况的发生;在干旱的夏季,融水占到了印度河和咸海上游流域注入水量的绝大部分。然而,对冰川物质平衡(冰川物质的净得失)的直接测量结果很少,人们此前也并未全面评估过冰川融水在干旱期间的重要性。

英国南极调查局 Hamish Pritchard 估计了流域范围的多年代际冰川物质平衡,结合平均和干旱时期的降水数据,量化了冰川对流域注入水量的贡献^[30]。作者发现,亚洲的高山冰川每年夏季总计产生了 23 km³ 的融水。没有这些冰川,印度河上游流域夏季每月的注入水量最多将会减少 38%,干旱情况下最多减少 58%,上咸海盆地失去的夏季注入水量将时常达到 100%。

研究表明,亚洲的高山冰川在保护下游人口免受干旱影响方面发挥了重要作用,而且这种作用被低估了。来自这些冰川的夏季融水足以满足 1.36 亿人的基本需求,或者说巴基斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦和吉尔吉斯斯坦 5 国每年市政和工业需求的绝大部分(图 8^[30])。

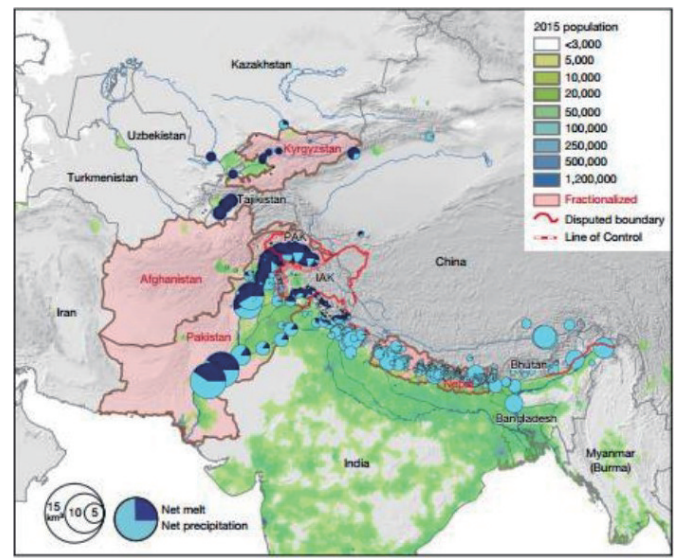


图 8 冰川融水分布的人口和政治背景

5.2 冰川消融对汞输出和循环影响增强

全球变暖背景下,中低纬度山地冰川加速消融,促进了径流量的增加,可能引起汞的释放并参与到下游生态系统生物地球化学循环。中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心、中国科学院青藏高原研究所张强弓等对青藏高原念青唐古拉山脉扎当冰川区“冰川-融水-径流”开展协同采样观测,以探明山地冰川消融输出汞的过程和规律,理解以青藏高原为代表的高海拔山区汞的生物地球化学循环^[31]。

研究发现,不同环境介质中总汞含量依次为,雪坑 > 冰面河 > 下游断面河水 > 冰川末端 > 上游断面河水。不同环境介质中均以颗粒汞为主,是影响汞分布的主要因素。冰川补给径流量具有显著的日变化特征,受其影响,融水中总汞含量也具有显著的日变化。从冰川末端融水到下游河水,水体中总汞含量峰值依次出现,并与冰川径流流量峰值相对应,体现了冰川消融对流域汞输出的控制和影响。

6 湿地

6.1 湿地土壤碳对水位下降响应机制被揭示

湿地占陆地表面积的 5%~8%,其碳储量却达到陆地碳库的 30%,是一个非常重要的土壤碳库。在气候变化和土地利用变化的影响下,全球约一半的湿地正受到干旱或退化的威胁;人为排水或干旱造成的水位下降很可能将湿地由碳汇变成碳源。但是,在野外观

测中,土壤有机碳对湿地水位下降或干旱的响应并不一致,其机理亟待进一步明确。

中国科学院植物研究所冯晓娟研究组与北京大学贺金生研究组利用海北站高寒湿地中宇宙水位控制实验,结合分子有机地球化学手段,研究了湿地水位下降过程中铁的氧化还原转化对土壤有机碳动态的调控机理^[32]。研究人员发现,与经典的“酶栓”(enzyme latch)理论相反,在湿地水位下降的条件下,土壤酚氧化酶的活性主要受到了亚铁离子浓度的影响,并随着水位下降而降低;酚氧化酶活性的下降导致水溶性芳香族化合物的积累,从而抑制了土壤中水解酶的活性。同时,伴随着亚铁向铁氧化物的转化,有更多的木质素受到铁氧化物的保护,而被保存在土壤中(图9^[32])。基于此,研究人员提出以湿地土壤亚铁的氧化为核心的“铁门”(iron gate)机制,该机制可能缓解由湿地土壤氧气含量升高而造成的碳释放,为解释和预测湿地干旱过程中的土壤碳动态提供新的思路 and 依据。

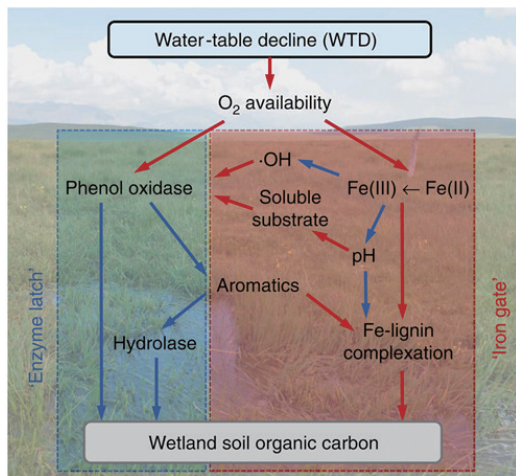


图9 “铁门”概念模型示意

6.2 河岸带湿地脱氮功能研究获进展

河岸带湿地是河流水生态系统和陆地生态系统之间的过渡带,在截留面源污染和改善河流水质方面起着重要作用。河岸带湿地可以通过反硝化、厌氧氨氧化、植物吸收以及土壤固定等多种途径削减氮污染,其中反硝化途径能将硝酸盐还原成 N_2O 和 N_2 ,被认为是湿地脱氮最关键的过程。非生物因子(土壤性质、水质和地形等)和生物因子(功能微生物和植被)都与反硝化过程密切相关,但目前学术界对土壤性质如何影响河岸带湿地反硝化速率还缺乏足够了解。

中国科学院武汉植物园刘文治、刘贵华研究团队

以南水北调中线工程水源地的河岸带湿地为对象,研究了汉江河岸带湿地的反硝化脱氮能力及其影响因素^[33]。研究发现:汉江干流河岸带湿地的潜在反硝化速率偏低,且存在较强的时空差异,春夏季湿地的反硝化速率显著高于秋冬季,而河岸带的反硝化速率显著低于水库消落区。湿地反硝化速率与土壤湿度、硝氮和总碳浓度、nirK 和 nirS 基因丰度以及植物多样性都显著正相关。路径模型分析进一步证明土壤性质可以直接或通过改变反硝化微生物的丰度来间接调控河岸带湿地的反硝化速率。研究结果也表明,通过实施土壤改良和植被恢复等生态工程可有效提升水源地湿地的脱氮能力。

6.3 湿地甲烷排放对未来气候变化的响应

湿地是全球甲烷循环中贡献最大的自然排放源,同时也受到了显著的气候变化影响。但目前在全球集成评估模型(IAM)及气候模型中,湿地甲烷排放在未来气候变化影响下的变化及对气候系统反馈的响应尚未明确。

中国科学院西北生态环境资源研究院遥感与地理信息科学研究所张臻、李新、黄春林及兰州大学朱高峰等利用陆面过程模型LPJ-wsl及气候模式,完整评估了38个CMIP5气候模型对4种未来气候情景下湿地甲烷排放的动态变化轨迹及其对气候系统响应的不确定性^[34]。结果发现,在严格控制温室气体排放的气候情景RCP2.6下,全球变暖引起的湿地甲烷排放增加导致的辐射强迫会在2040s超出人类活动引起的甲烷辐射强迫效应,并在21世纪末期超过人源辐射强迫约38%~56%。同时,该研究还预测了北半球高纬度地区的湿地及泥炭地甲烷由于冻土融化在非生长季大幅增加及热带湿地面积的减少。

7 水处理技术

7.1 离子精确“装订”石墨烯膜可用于海水淡化

海水淡化是解决水资源短缺问题的有效途径之一。石墨烯膜用于海水淡化一直面临巨大挑战:对像纸一样的石墨烯纳米片,要精确“装订”成石墨烯膜,保证其层间距固定并精确到0.1 nm这么小的尺度,非常困难;更具挑战的是,石墨烯膜在水溶液中还会发生溶胀导致分离性能严重衰减。

中国科学院上海应用物理研究所、上海大学、南京

工业大学和浙江农林大学的研究团队提出并实现了用水合离子自身精确控制石墨烯膜的层间距,展示了其出色的离子筛分和海水淡化性能,并用理论计算、上海光源的 X 射线小角散射 (BL16B1) 和精细吸收谱 (BL14W1) 实验阐明了机理,相关论文发表在《Nature》上^[35]。研究证明,离子与石墨烯片层内芳香环结构之间存在水合离子- π 相互作用,这种作用像“桥墩”一样支撑石墨烯片层,精确控制了石墨烯膜的层间距,而不同大小的水合离子相当于不同大小的“桥墩”,进而对应于不同的层间距。对于具有最小水合直径的钾离子,由于钾离子的水合层较弱,进入石墨烯膜后水合层发生形变,导致特别小的层间距。因此,经过钾离子溶液浸泡的石墨烯膜能阻止水合钾离子自身的进入,有效截留盐溶液中包括钾离子本身在内的所有离子,同时还能维持水分子通过,实现一边是离子溶液一边是纯水的水处理效果。

7.2 石墨烯海绵可快速吸附高黏度浮油

因具有成本低、吸附效率高、操作简单、环境友好等诸多优势,近年来多孔疏水亲油材料成为业界研究热点。然而,当前该材料仅对低黏度油品具有较高的吸附效率。海上石油泄漏时,短短几小时内,石油黏度就会增加上百倍,该材料难以快速吸附浮油。

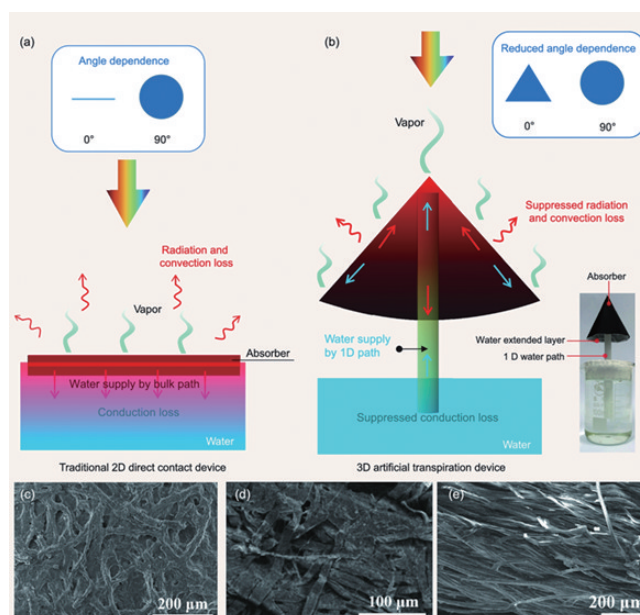
中国科学技术大学化学与材料科学学院俞书宏团队采用离心辅助浸渍涂覆技术,在商业海绵表面,均匀地包裹上石墨烯涂层,得到的石墨烯海绵不仅导电,还具有疏水亲油特性^[36]。他们发现,在石墨烯海绵上施加电压后,产生的焦耳热会迅速降低石油的黏度,从而提高石油在石墨烯海绵内部的扩散系数,大大提高石墨烯海绵对高黏度石油的吸附速度。为提高电能的利用率,他们将加热区域限制到石墨烯海绵的底部,顶层的海绵和水面的浮油相当于隔热层,缓解热量向空气和水体中扩散,提高热量向石油传递的效率。在这种限域加热设计下,电能消耗降低了 65.6%,石墨烯的用量降低了 50%,吸油时间也只有常温石墨烯海绵的 5.4%。

7.3 人工蒸腾:新型高效太阳能水处理结构

高效的太阳能转换与利用被视为国家能源的重大需求。然而由于光学和热学的损耗,传统的光-热(蒸汽)转化效率较低(~40%),很大程度上限制了其广泛应用。南京大学现代工程与应用科学学院朱嘉课题组在高效界面光热转换领域进行了一系列工作:首先成功地实现了最黑等离子体吸收体的制备^[37];在此基础上

实现了首个基于等离子体增强效应的太阳能海水淡化器件,很大程度解决了吸收体的光学损耗问题^[38];随后通过二维水通道的设计来实现吸收体与水体的间接接触,大大降低了器件向水体的热传导损耗^[39]。

近期,该课题组着力于最大限度地解决在实际应用中太阳能入射角不断变化带来的光学损耗和热学损耗(热传导、热对流和热辐射)问题,首次提出并实现了“人工蒸腾”结构,突破传统二维平面器件的局限,设计出三维的空心锥形结构,大大缓解了器件在真实环境中对太阳光入射角的依赖性,并且有效地降低了器件的蒸发温度,进而有效控制了热对流和热辐射的损耗^[40]。同时,“人工蒸腾”结构通过一维的供水通道有效控制热传导损耗,从而首次实现了无外界辅助、正常光照条件下 85% 以上的光-蒸汽转换效率(图 10^[40])。在应用层面,该工作首次将界面光-蒸汽转换拓展到重金属污水处理上。实验结果表明:该技术不仅可以得到符合饮用水标准的水,同时也可有效地回收重金属(如金、铜等),为高效的太阳能光-热(蒸汽)的利用和发展提供了新的思路。



(a) 传统的光-热(蒸汽)转化器件示意;(b) 三维(3D)人工蒸腾器件示意;
(c)~(e) 吸收体、水扩展层和一维水路径的电镜图

图 10 “人工蒸腾”结构与示意

7.4 自然光驱动的金属有机骨架从空气中收集水分

大气水重要的淡水资源,约占地球淡水资源的 10%,然而目前并没有从低湿度空气中捕获和运输水分的有效方法。研究人员设计出基于多孔金属有机骨架

{MOF-801, [Zr₆O₄(OH)₄(fumarate)₆]} 材料的水分收集装置,该装置可以在低于 1 kW/m² 自然光照的低能量条件下从空气中捕获水分^[41]。该装置可在相对湿度低至 20% 的情况下,每公斤每日收获 2.8 L 的水而不需要额外的能量输入。该装置的结构及金属有机框架材料的结构性能如图 11 所示。

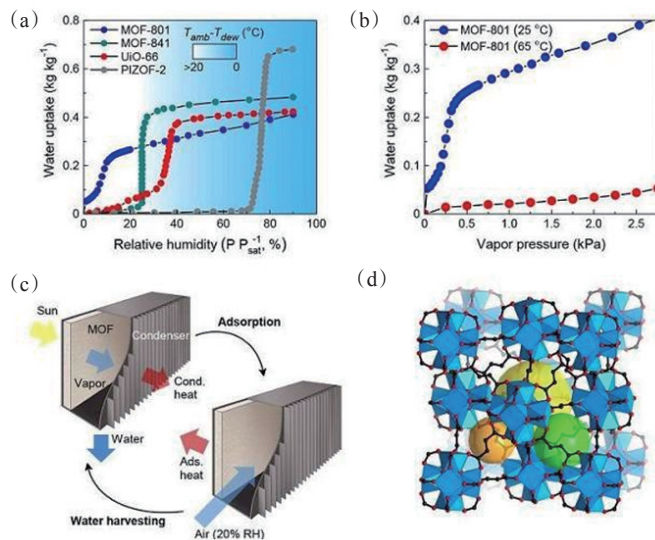


图 11 自然光驱动的金属有机骨架从空气中收集水分

8 结论

2017年,科研人员对于各类水体的研究依旧如火如荼,致力于解决人类生存发展所面临的各项水环境问题,相关成果发表于《Nature》《Science》《PNAS》《Nature Climatic Change》《Nature Geoscience》《Nature Communications》《Nature Nanotechnology》等顶级国际期刊上,受到广泛关注,其中不乏中国研究人员的身影。

相对于常规水源,研究人员把更多目光投向了非常规水资源,如海洋、冰川、大气水等,尤其是海洋的研究受到了世界各国人民的密切关注。对于海洋的开发利用,也不乏研究者从不同视角提出了各种观点:有研究者从水产养殖的角度出发,通过计算认为一片密歇根湖大小的海洋区域其实可以产出相当于目前从全球所有野生渔场收获鱼类总量,地球上的海洋足以支撑海水养殖产业的大规模扩张^[42];有研究者从保护海洋资源的角度,研究了海洋保护区的保护效果,认为虽然全球海洋保护区仍在持续扩张,但人力财力投资不足或将限制海洋保护效益^[43];从保护珊瑚礁的角度,夏威夷州提出了一项法案,旨在禁售含有某些紫外线过滤剂的防晒霜,但这些物质对珊瑚礁的影响尚有争议^[44]。

2017年度中国也开启了首次环球海洋综合科学考察,以中国大洋46航次和中国第34次南极科学考察(与雪龙船联合组队)两部分为主体任务,在整个走航过程中进行环境、资源、气候、生态等多学科综合考察。

然而,水污染无处不在,在目前最深的海沟亦发现了 POPs 污染的存在,而储存时间超过 12000 年的古地下水也会受到人类活动的污染。因此,水污染整治和水环境修复的工作依然面临着巨大挑战。科学家们不断采用新手段开发利用水资源的同时,也在不断开发新技术解决水环境污染和生态修复的问题。

参考文献 (References)

- [1] Xiong W, Ni P, Chen Y, et al. Zooplankton community structure along a pollution gradient at fine geographical scales in river ecosystems: The importance of species sorting over dispersal[J]. *Molecular Ecology*, 2017, 26(16): 4351–4360.
- [2] Xiong W, Li J, Chen Y, et al. Determinants of community structure of zooplankton in heavily polluted river ecosystems[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 22043.
- [3] Pennisi E. Africa's deadliest rapids give birth to new fish species[J]. *Science*, 2017, doi: 10.1126/science.aal0805.
- [4] Li Y, Zhang C, Wang N, et al. Substantial inorganic carbon sink in closed drainage basins globally[J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10: 501–506.
- [5] Latrubesse E M, Arima E Y, Dunne T, et al. Damming the rivers of the Amazon basin[J]. *Nature*, 2017, 546: 363–369.
- [6] Tong Y D, Zhang W, Wang X J, et al. Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006[J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10: 507–511.
- [7] Yan Q Y, Yu Y H, Feng W S, et al. Genetic diversity of plankton community as depicted by PCR-DGGE fingerprinting and its relation to morphological composition and environmental factors in Lake Donghu[J]. *Microbial Ecology*, 2007, 54(2): 290–297.
- [8] Yu Y H, Yan Q Y, Feng W S. Spatiotemporal heterogeneity of plankton communities in Lake Donghu, China, as revealed by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis and its relation to biotic and abiotic factors[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 63(3): 328–337.
- [9] Yan Q Y, Stegen J C, Yu Y H, et al. Nearly a decade-long repeatable seasonal diversity patterns of bacterioplankton communities in the eutrophic Lake Donghu (Wuhan, China)[J]. *Molecular Ecology*, 2017, 26(14): 3839–3850.
- [10] Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made[J]. *Science Advances*, 2017, 3(7): e1700782.

- [11] Wang W F, Ndungu A W, Li Z, et al. Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 575: 1369–1374.
- [12] Di M X, Wang J. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 616–617: 1620–1627.
- [13] Ren J, Wang X P, Wang C F, et al. Atmospheric processes of organic pollutants over a remote lake on the central Tibetan Plateau: Implications for regional cycling[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, 17: 1401–1415.
- [14] Tao Y Q, Yu J, Xue B, et al. Precipitation and temperature drive seasonal variation in bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the planktonic food webs of a subtropical shallow eutrophic lake in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 583: 447–457.
- [15] Wang G J, Cheng L J, Abraham J, et al. Consensuses and discrepancies of basin-scale ocean heat content changes in different ocean analyses[J]. *Climate Dynamics*, 2017, doi: 10.1007/s00382-017-3751-5.
- [16] Ashton G V, Morley S A, Barnes D K A, et al. Warming by 1°C drives species and assemblage level responses in antarctica's marine shallows[J]. *Current Biology*, 2017, 27(17): 2698–2705.
- [17] Hughes T P, Kerry J T, Wilson S K. Global warming and recurrent mass bleaching of corals[J]. *Nature*, 2017, 543: 373–377.
- [18] Decarlo T M, Cohen A L, Wong G T F, et al. Mass coral mortality under local amplification of 2 °C ocean warming[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7:44586.
- [19] Schmidtko S, Stramma L, Visbeck M. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades[J]. *Nature*, 2017, 542: 335–339.
- [20] DeVries T, Holzer M, Primeau F. Recent increase in oceanic carbon uptake driven by weaker upper-ocean overturning[J]. *Nature*, 2017, 542: 215–218.
- [21] Hammill E, Johnson E, Atwood T B. Ocean acidification alters zooplankton communities and increases top-down pressure of a cubozoan predator[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(1): e128–e138.
- [22] Marshall K N, Kaplan I C, Hodgson E E, et al. Risks of ocean acidification in the California Current food web and fisheries: Ecosystem model projections[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(4): 1525–1539.
- [23] Hong H Z, Shen R, Zhang F T, et al. The complex effects of ocean acidification on the prominent N₂-fixing cyanobacterium *Trichodesmium*[J]. *Science*, 2017, 356(6337): 527–531.
- [24] Jamieson A J, Malkocs T, Piertney S B, et al. Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna [J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, doi: 10.1038/s41559-016-0051.
- [25] Lamb J B, van de Water J A J M, Bourne D G, et al. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates[J]. *Science*, 2017, 366(6326): 731–733.
- [26] McCauley R D, Day R D, Swadling K M, et al. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, doi: 10.1038/s41559-017-0195.
- [27] Cuthbert M O, Gleeson T, Reynolds S C, et al. Modelling the role of groundwater hydro-refugia in East African hominin evolution and dispersal[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(15696): 15696.
- [28] Dalin C, Wada Y, Kastner T, et al. Groundwater depletion embedded in international food trade[J]. *Nature*, 2017, 543(7647): 700.
- [29] Jasechko S, Perrone D, Befus K M, et al. Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination[J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10(6): 425–429.
- [30] Pritchard H D. Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought[J]. *Nature*, 2017, 545(7653): 169.
- [31] Sun X J, Wang K, Kang S C, et al. The role of melting alpine glaciers in mercury export and transport: An intensive sampling campaign in the Qugaqie Basin, inland Tibetan Plateau [J]. *Environmental Pollution*, 2017, 220B: 936–945.
- [32] Wang Y Y, Wang H, He J-S, et al. Iron-mediated soil carbon response to water-table decline in an alpine wetland[J]. *Nature Communications*, 2017, doi: 10.1038/ncomms15972.
- [33] Xiong Z, Guo L, Zhang Q, et al. Edaphic conditions regulate denitrification directly and indirectly by altering denitrifier abundance in wetlands along the Han River, China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(10): 5483.
- [34] Zhang Z, Zimmermann N E, Stenke A, et al. Emerging role of wetland methane emissions in driving 21st century climate change[J]. *PNAS*, 2017, 114(36): 9647–9652.
- [35] Chen L, Shi G S, Shen J, et al. Ion sieving in graphene oxide membranes via cationic control of interlayer spacing[J]. *Nature*, 2017, 550: 380–383.
- [36] Ge J, Shi L-A, Wang Y-C, et al. Joule-heated graphene-wrapped sponge enables fast clean-up of viscous crude-oil spill[J]. *Nature Nanotechnology*, 2017, 12: 434–440.
- [37] Zhou L, Tan Y, Ji D, et al. Self-assembly of highly efficient, broadband plasmonic absorbers for solar steam generation[J]. *Science Advances*, 2016, 2(4): e1501227.
- [38] Zhou L, Tan Y, Wang J Y, et al. 3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination[J].

- Nature Photonics, 2016, 10: 393–398.
- [39] Li X Q, Xu W C, Tang M Y, et al. Graphene oxide-based efficient and scalable solar desalination under one sun with a confined 2D water path[J]. PNAS, 2016, 113(49): 13953–13958.
- [40] Li X Q, Lin R X, Ni G, et al. Three-dimensional artificial transpiration for efficient solar waste water treatment[J]. National Science Review, 2017, doi: 10.1093/nsr/nwx051.
- [41] Kim H, Yang S, Rao S R, et al. Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight [J]. Science, 2017, 356(6336): 430–434.
- [42] Gentry R R, Froehlich H E, Grimm D, et al. Mapping the global potential for marine aquaculture[J]. Nature Ecology & Evolution, 2017, doi: 10.1038/s41559-017-0257-9.
- [43] Gill D A, Mascia M B, Ahmadi G N, et al. Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally [J]. Nature, 2017, 543(7647): 665–669.
- [44] Vesper I. Hawaii seeks to ban ‘reef-unfriendly’ sunscreen[J]. Nature, 2017, doi: 10.1038/nature.2017.21332.

Advances in water environmental science in 2017

CHENG Rong, SHI Lei, ZHENG Xiang

School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract In 2017, the research progress in the field of water environment was still remarkable. We overview in this paper the significant developments and breakthroughs in 2017 according to the research findings published in the top academic journals or the most influential achievements. Considering the various types of water bodies, the researches on natural waters are reviewed in terms of rivers and watersheds, lakes (reservoirs), oceans, groundwater, glaciers, and wetlands, as well as water treatment technologies. It is hoped that this paper can give valuable reference for understanding the advances of water environment science.

Keywords water environment science; oceans; lakes; rivers; groundwater ●



(责任编辑 祝叶华)