

# 用时 20 亿年！地球变“富氧”咋这么慢

■本报记者 沈春蕾

如今,地球大气的含氧量约为 21%。在很多年前,地球大气中的氧气含量仅为现在的 1%。这一数值从 1%增加到现在大气含氧量的 60%以上,间隔了近 20 亿年。为什么地球大气中含氧量的增加如此缓慢?

围绕这一科学问题,中科院南京地质古生物研究所(以下简称南京古生物所)研究员朱茂炎领导的中英合作团队采用多种地球化学指标并结合数学模型,结合三峡地区的地层剖面,首次系统论证了巨大海洋溶解有机碳库的存在是元古宙(约 25 亿~5.7 亿年前)海洋彻底氧化迟缓的关键原因。日前,相关研究成果发表于《地球与行星科学通讯》。

## 质疑有机碳库模型

从太古宙(40 亿~25 亿年前)的无氧地球,到元古宙的低氧地球,再到显生宙(5.7 亿年前延续至今)的富氧地球,地球上的生物也随环境的变化而发生变化——从原核生物,到真核生物,再到动物。地球大气氧含量与生命演化之间的因果联系也成为当今备受关注的科学问题之一。

朱茂炎向《中国科学报》介绍,早期地球极端缺氧,直至距今大约 24 亿年前后发生第一次大氧化事件,大气中的氧气达到了现代大气氧含量的 1%水平以上,导致真核生物在地球上首次出现。

然而,在随后长达十几亿年的时间内,大气氧含量并没有显著增加,一直到距今 5.8 亿~5.2 亿年前后,地球发生了第二次大氧化事件,大气中的氧含量才增加到现代大气氧含量的 60%以上的水平,从而可能触发了多细胞真核生物的大爆发,以及动物的快速起源和寒武纪生命大爆发。

关于前寒武纪(地球从诞生到 6 亿年前)大洋中含氧量长期很低的问题,目前学术界有一个理论模型——溶解有机碳库模型。该模型最早由美国麻省理工学院教授 Daniel Rothman 于 2003 年提出,其依据是新元古代(10

亿~5.4 亿年前)地层中记录的海水碳同位素的频繁异常事件,并表现出无机碳和有机碳同位素变化之间的不耦现象。

该模型认为,前寒武纪海洋表层透光带内进行光合作用的微生物主要是原核生物,这些微生物死亡后的有机质颗粒细小、沉降速率慢,在海水中不断积累形成一个巨大的海洋溶解有机碳库,达到现代大洋溶解有机碳库 1000 倍以上。

朱茂炎解释道,前寒武纪这种缺氧的海洋就像一个现代的巨大沼泽池,水体中大量腐殖有机质不断消耗着氧气,导致水体浑浊并缺氧。“只有当这个浑浊并缺氧的海洋得到氧化,海洋和大气中的氧气含量才能够增加。”

然而,溶解有机碳库模型随后遭到学界质疑,质疑的焦点集中在新元古代地球不可能提供足够的氧化剂来消耗或移除海洋中这一巨大的还原碳库。

## 地化模型寻找氧化剂

那么,前寒武纪浑浊缺氧的海洋到底是如何变得清澈且富含氧气的呢?

还有一种假说是生物与环境协同演化模型。这个模型认为当海水中氧气含量达到原始动物生存的最低需求时,比如像海绵动物这样的生物的出现可以通过捕食海水悬浮有机质,加速海水有机质的消耗和埋藏,减少海水中氧气的消耗,最终导致海洋和大气中氧气的增加。

随着氧气含量的增加,微型浮游动物和复杂动物也会随之出现,从而形成复杂的食物网,进一步消耗海水中的有机质,再通过动物大颗粒排泄物和尸体形成沉积物,提高了有机质埋藏的效率,形成了动物演化与氧气增加的正反馈机制。

朱茂炎指出,这种正反馈机制最终表现为氧气增加的线性加速,与 5.8 亿~5.2 亿年前后大气和海洋氧气含量多次大规模波动、生物阶段性爆发演化的实际情况却不一致。

2005 年,《科学》发文提出,5.51 亿年前存在一次全球碳同位素异常事件,与有机碳库的氧化有关,使得海洋和大气中含氧量剧增,导致复杂生命的出现。

研究的焦点再次回到有机碳库的氧化,即寻找氧化剂。

朱茂炎团队的研究始于 2003 年前后,团队利用地层学的研究优势论证了大规模造山运动导致原来海盆中形成的巨量蒸发盐矿物的风化,可以为海洋带来持续性硫酸盐(氧化剂)输入,这些硫酸盐通过硫酸盐还原菌大规模消耗海水中的溶解有机碳,并通过黄铁矿的大规模埋藏(产氧),最终导致海洋中溶解有机碳库的减小和海洋的迅速氧化。相关研究成果 2019 年发表于《自然—地球科学》。

虽然这一假说为寻找溶解有机碳库的氧化剂来源提供了解决方案,但该假说主要依赖于生物地球化学模型的数值模拟,缺乏具体地质记录和地球化学证据的直接论证。

## 地质记录提供证据

为此,朱茂炎团队来到了湖北宜昌。“这里有我们需要的剖面。”他说。

果不其然,科研团队在三峡地区南沱村剖面埃迪卡拉纪陆山沱组地层(约 6 亿年前)中识别出一个与地质历史上全球最大的 Shuram/DOUNCE 事件(陆山沱碳同位素异常事件)级别相同但持续时间更短(约 1.5 百万年)的碳同位素异常事件,相当于先前识别的 WANCE 事件(瓮安碳同位素异常事件)。

国际上将埃迪卡拉纪发生的地球历史上最大的海洋碳同位素异常事件称为 Shuram 事件,在我国华南称为 DOUCE 事件。Shuram/DOUNCE 事件的年龄、持续时间、全球性和成因机制,是建立埃迪卡拉纪全球年代标准和解决埃迪卡拉纪生命与环境演化问题的关键。

为了弄清上述异常事件发生的原因,

论文第一作者,南京古生物所副研究员陈波等人利用剖面化石开展了详细的碳、氧、硫、铀、钍等多同位素体系分析,论证这次碳同位素异常事件记录的一次由大陆风化增强导致硫酸盐输入增加进而触发的短暂海洋氧化事件。

这里的大陆风化增强所带来的海水硫酸盐含量增加,使深海溶解有机碳被迅速消耗,海洋开始氧化,大量 <sup>13</sup>C 碳的稳定同位素(一)亏损的有机碳被氧化并释放到海水中,导致同期海水碳酸盐的碳同位素急剧下降。随着风化作用减弱,氧化剂被耗尽,海洋迅速恢复到缺氧状态,同时海水碳酸盐的碳同位素值恢复到正值。

朱茂炎介绍,这一地球化学数据所揭示的过程与生物地球化学模型的数值模拟结果非常吻合。特别有意义的是,WANCE 事件发生的这一过程与随后发生的 Shuram/DOUNCE 异常极其一致,支持了团队在 2019 年提出的假说,即造山运动导致大量氧化剂输入增加,是埃迪卡拉纪海洋氧化和极端碳同位素负偏移事件的主要驱动因素。

他表示,这种海洋氧化还原状态和氧化剂供应之间的动态平衡完全符合 Rothman 提出的溶解有机碳库模型,为溶解有机碳库的存在导致前寒武纪海洋彻底氧化迟缓提供了直接证据。

科研人员推测,发生在埃迪卡拉纪早期的 WANCE 事件,可能标志着这一大型深海溶解有机碳库解体的肇始。

随后,多次持续时间更长、强度更大的脉冲式氧化剂输入事件,不断消耗大洋中的溶解有机碳,促使其最终在寒武纪早期消失,海洋变得更加氧化,为动物在寒武纪早期的大爆发和复杂海洋生态系统的出现创造了先决条件。

“自此,原始地球基本完成了向现代地球—生命系统的革命性转变。”朱茂炎说。

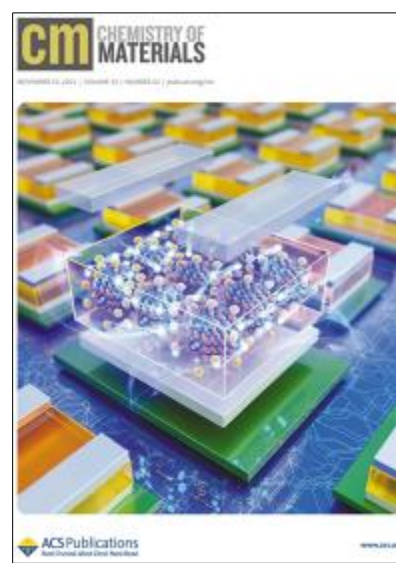
相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117274>

## 发现·进展

广东省科学院半导体研究所

# 开发出高性能铜铟硒纳米材料

本报讯(记者朱汉斌 通讯员尹殊慧)近日,广东省科学院半导体研究所新型显示团队开发出高性能环境友好型铜铟硒纳米材料并成功应用于薄膜电子器件。相关研究以封面文章的形式发表于《材料化学》。



相关研究以封面文章的形式发表。图片来源:《材料化学》

作为一种新兴的半导体材料,胶体纳米晶体因优异的光电特性和低成本制备工艺,在薄膜电子器件中具有广泛的应用前景。然而,由于毒性重金属元素的存在,大多数高性能含铜和铅的硫化物半导体纳米材料的应用被严重限制。

该研究围绕新型高性能环境友好型 I-III-VI 族半导体材料体系,利用一种简单高效的液相胶体合成和配体交换方法,制备出了高性能无重金属元素的铜铟硒纳米材料。

研究人员通过将铜铟硒纳米晶体的长链表面配体替换为金属—硫化合物无机短链配体,减少了带隙内缺陷态产生,避免了材料本征载流子浓度的降低。利用简单的旋涂和低温退火工艺将其应用于薄膜场效应晶体管集成电路,得到了优异的电学性能。

该研究为设计及制造低成本、高性能、大面积、环境友好型纳米薄膜电子器件提供了一种新颖的研究策略与方法。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c02877>

中国科学技术大学

# 新元件同时实现暗场显微成像和全内反射成像

本报讯 中国科学技术大学教授张斗国研究组研制出一种基于光学薄膜的平面型显微成像元件,用作被测样本的载玻片,可在常规的明场光学显微镜上实现暗场显微成像和全内反射成像,获取高对比度的光学显微图像。相关成果日前发表于《自然—通讯》。

常规的光学显微镜是明场显微镜,利用光线照明,样本中各点依其光吸收的不同在明亮的背景中成像。但对于一些未经染色处理的生物标本或者其他透明样本,由于对光线的吸收很少,因而对比度差,难以观测。暗场显微镜、全内反射显微镜的问世,则解决了这一难题。

暗场显微镜只允许被检测样本反射和衍射的光线进入物镜,照明光线不直接进入成像物镜。有样本时,样本的衍射光与散射光等在暗背景中明亮可见,成像对比度远高于明场光学显微镜。全内反射显微镜是利用光线全反射后在介质另一面产生表面波来照明样本,有样本时,表面波会被散射或衍射到远处,从而在暗背景下形成物体的明亮像,并可提高成像对比度。但暗场显微镜、全内反射显微镜需要复杂的光学元件,这些元件体积较大、不易集成、操作复杂,成像效果严格依赖于光路的精确调节。

该研究组研制出一种基于光学薄膜的平面型显微成像元件,该元件在常规明场显微镜上,可同时实现暗场显微成像和全内反射成像。相对于明场光学显微镜像,其成像对比度有大幅度提升。

这一元件结构简单、成本较低、操作便利、易于集成,不仅适用于空气中的样本,也适用于液体环境中生物活细胞的成像。实验结果表明,无需改变现有显微镜的主体光路架构,通过设计,制作合适的显微载玻片,就可以有效提升其成像对比度,拓展其成像功能。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-27231-6>

河北大学等

# 提出人工智能视觉系统新方法

本报讯(记者陈彬)河北大学电子信息工程学院教授闫小兵团队联合复旦大学、中科院微电子研究所、新加坡国立大学和安徽大学等机构研究者,提出一种完全基于亿阻器的人工视觉感知神经网络(AVPNS)。该系统成功模拟了生物视觉系统的基本功能,实现了图像感知。近日,相关成果在线发表于《美国化学会—纳米》。

人体超过 80%的信息是通过眼睛从外部接收,视觉系统也是生物最重要的神经系统。在人工智能技术中,通常使用图像传感器采集图像数据,但是图像传感器需要持续实时检测图像,这与人类视觉系统相比产生了大量冗余数据。

受生物视觉系统工作模式的启发,研究团队提出了 AVPNS,它由光电亿阻器和阈值开关亿阻器组成,分别模拟神经系统的神经突触和神经元。研究团队还将该系统概念性地应用在了无人驾驶汽车中,模拟了无人驾驶汽车会车过程中汽车速度的自我调节过程。

该成果表明基于亿阻器的硬件系统可以准确模拟生物视觉神经网络的功能,从而扩展亿阻器在人工智能中的应用范围,为人工神经网络的研究提供了全新思路。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1021/acsnano.1c04676>



日前,《科技创新(三)》特种邮票发行。这套科技创新邮票一套 5 枚,分别是“嫦娥五号”“奋斗者”号全海深载人潜水器“揭示蝗虫聚群成灾的奥秘”“华龙一号”“古 DNA 揭秘中国史前人群迁徙动态与族群源流”,其中 4 枚邮票内容选自中科院近年来牵头或参与的重大科技成果。该套邮票画面以“十三五”以来我国科技创新取得的一系列重大成果为依托,选取我国近两年取得的 5 项重大科技创新成果,采用现代手绘描画方式表现。

## 一套 5 枚——这些科技成果登上邮票

## 2021 年复旦管理论坛举行

本报讯 日前,2021 年复旦管理论坛暨复旦管理学奖励基金会颁奖典礼在上海举行。

中国工程院院士、浙江大学管理学院教授许庆瑞获颁“复旦管理学终身成就奖”。许庆瑞是我国率先开展技术创新管理研究的学者,在国内最早提出“企业必须成为技术创新的主体”。通过深入企业调研,结合时代发展趋势,许庆瑞先后提出了“二次创新”“组合创新”“全面创新”理论,形成具有中国特色的技术创新管理理论体系。

2021 年复旦管理论坛同期开幕。2009 年“复旦管理学杰出贡献奖”获奖者、中国工程院院士唐立新,今年的获奖者、中科院自动化研究所研究员曾大军与福耀玻璃集团董事长曹德旺先后围绕“智能工业数据分析与优化”“决策智能——人工智能赋能决策科学”“敬天爱人——企业可持续发展的主旨要义”等主题发表演讲。

在学术论坛上,沪上各高校代表以“管理科学与工程专业建设和科研发展”为主题,就如何不断加强学科人才培养、推进学科建设满足实践需求展开研讨。

复旦管理论坛由复旦管理学奖励基金会于 2006 年发起举办,每年邀请历届获奖人、专家学者、业界领袖、政府官员结合中国改革开放的实践,对中国和全球管理领域热点问题展开深入研讨,已发展成为我国管理学领域最重要的学术会议之一。(张洁玲 黄辛)

# 野猪增多,就该猎杀?

■孙全辉

最近,国内有关野猪出没的报道不断登上热搜,让这个原本不被关注的动物进入普通人的视野。野猪为何会增多?它们是最近才增多的吗?以后野猪还要不要保护?或许不少人会产生这样的疑问。

其实,野猪增多的新闻十多年前就有了,有关部门也采取了包括狩猎在内的各种应对措施。野猪不是濒危物种,没有被列入国家重点保护野生动物名录。在这个背景下,野猪多了是喜还是忧?笔者认为,如何科学理性地看待由此引发的生态和社会问题,才是需要重点关注的。

## 野猪是什么时候多起来的

野猪是家猪的祖先,在分类上属于偶蹄目、猪科。野猪是名副其实的“大胃王”,在野外能吃的东西它们几乎来者不拒。也正如此,野猪对环境的适应能力超强,它们的足迹遍布东亚大陆。不过,野猪最喜欢的还是森林、灌丛、沼泽等食物资源相对丰富的生境。

在食物链上,野猪是豺、狼、虎、豹等顶级肉食动物的主要食物,因此它们在进化过程中形成的生存策略就是大量繁殖。野猪通常每年秋季交配,春季产崽,每窝可产 4~12 头幼崽,食物充足的年份母猪甚至可以 2 年繁殖 3 次。在缺乏天敌的情况下野猪的成活率比较高,一般第二年它们就能繁殖。

了解野猪的这些特点,就不难理解野猪为何能在短期内实现种群快速增长了。野猪不仅是生态系统食物链上的重要一环,也是早期人类重要的食物来源之一。考古资料显示,早在 8000 多年前人类祖先就开始圈养野猪了。不过到了近代,由于人类的大量捕杀和对野猪栖息地的侵占,野猪在欧洲不

少国家的数量迅速减少,在部分地区甚至彻底消失。20 世纪 50 年代以后,欧洲各国开始重视环境保护工作,经过多年努力,生态环境大有改善,当地野猪的生存状况也明显改观。

国内野猪的数量也经历了先降后升的过程。据称 1949 年全国的野猪数量超过 200 万头,有些农村还成立了护农狩猎队,专门捕杀野猪等动物。此后几十年,国内野猪的种群数量急转直下,到 20 世纪 90 年代初,其数量已骤降至几万头。1989 年,野生动物保护法出台,野猪没有被列入国家重点保护野生动物名录,农村地区依然可以猎杀野猪。

直到 2000 年,国内野猪的保护才迎来转机。野猪被列入当年 8 月颁布的《国家保护的有益的或者具有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录》(即“三有动物”名录)之中,禁止随意猎捕和买卖,这给野猪种群的恢复带来了一线生机。1996 年,我国枪支管理法实施,由于猎枪被大量收缴,针对野猪的非法狩猎活动随之减少,客观上进一步助推了野猪种群的增长。

## 破解人兽冲突须科学应对

野生动物保护法的实施和猎枪收缴虽然促进了野猪保护,但野猪种群的增长仍受到其他因素的制约,如种群基数、天敌数量、栖息地质量以及环境承载量等。

新世纪以来,国家对生态环境保护越来越重视,野生动物保护也被提到前所未有的高度。除了天然林保护工程等重大项目,我国自然保护区的数量和保护地的面积也屡创新高,相关法律法规对破坏野生动物资源的违法犯罪活动的打击力度也持续增强,这些举措都为野猪种群的增长提供了便利条件。