

中国科学院主管 中国科学报社出版 国内统一连续出版物号 CN 11 - 0084 代号 1 - 82



扫二维码 看科学报

扫二维码 看科学网

主办:中国科学院 中国工程院 国家自然科学基金委员会 中国科学技术协会

总第 8401 期 2023 年 12 月 7 日 星期四 今日 4 版

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebao>

科学网 www.science.net.cn

1.2 亿吨! 全球土壤固碳增产潜力待挖掘

■本报记者 李晨

“土壤固碳能改善土壤健康，并带来增产效应。”这是国际上普遍认可的激励农民采纳固碳技术，从而实现遏制气候变化目标的最关键驱动力。

“然而，在区域及全球尺度上，没有任何与土壤有机碳影响作物产量相关的可靠、定量化的证据，来支撑这样的共识。”中国农业大学资源与环境学院、养分资源高效利用全国重点实验室教授范明生告诉《中国科学报》，实际上，半个多世纪以来，关于土壤有机碳的增产效应一直存在争议。

近日，《自然—地球科学》在线发表了范明生课题组的研究论文，揭示了土壤有机碳对作物产量的因果效应。这项研究终结了土壤有机碳对作物产量的因果效应争论，并揭示了土壤固碳对全球主要粮食作物增产的理论潜力与当前技术贡献。

论文评审专家说，这是第一个关于土壤有机碳对全球作物产量影响的可靠的定量化研究，将为全球和区域土壤固碳与粮食安全，以及应对气候变化提供新视角及理论指导。

没有数据支撑的“共识”

土壤有机碳是全球陆地碳循环最大的碳库，其小幅增加可显著减少大气中二氧化碳的含量。2015 年联合国气候变化大会(COP21)正式将土壤固碳列为缓解气候变化的有效措施之一。同时，土壤有机碳是衡量土壤肥力的重要指标，土壤固碳也被认为是提升作物产能和保障粮食安全的重要措施。

范明生介绍，由于作物产量是多种生态因子与管理措施综合作用的结果，而且土壤固碳与作物产能提升之间互为因果关系，因此，土壤有机碳对作物产量的因果效应一直是国际学术界的研究热点和难点。

“10 年来，我们团队一直试图回答一个问题——在区域及全球尺度上，土壤固碳的增产效应有多大？”范明生说。

他们联合美国康奈尔大学教授、美国国家科学院院士 Johannes Lehmann 团队，构建了全球唯一的包含 66593 个试验处理，覆盖不同气候、土壤条件与管理措施的 13662 个田间试验数据集，突破了过去研究方法难以区分土壤有机碳与气候、土壤性质及管理措施等其他因素对产量的影响，以及土壤固碳与产能提升互为因果关系的局限，首次建立了土壤有机碳对作物产量的因果效应关系。

研究结果显示，作物产量确实随土壤有机碳的增加而增加，固碳增产效应相当于氮肥增产效应的 1/5，而当土壤有机碳达到最优化水



吉林省梨树县高有机碳高生产力黑土。

任图生供图

平后产量趋于平稳。

土壤固碳可让全球增产 1.2 亿吨

论文第一作者、中国农业大学博士研究生马煜卿说，他们证实了土壤有机碳的增产作用存在最优阈值，即在特定气候、土壤与作物条件下，当土壤有机碳含量达到一定阈值后，作物产量不再随土壤有机碳增加而增加。不过，土壤有机碳的最优阈值并不是固定的，而是与气候、土壤以及作物类型有关。例如，玉米的平均最优土壤有机碳含量水平为 43.2~43.9 克 / 千克，而小麦为 12.7~13.4 克 / 千克、水稻为 31.2~32.4 克 / 千克。

“这改变了学术界长期以来把 20 克 / 千克作为土壤有机碳最优产量阈值的传统认识。”范明生说。

那么，土壤有机碳达到最优阈值后，作物产量究竟能增加多少？

他们进一步提出土壤有机碳产量差理论模型。所谓土壤有机碳产量差，是指目前农田土壤有机碳与最优土壤有机碳阈值条件下的作物产量之差。

范明生解释说，这个概念能反映单位土壤有机碳变化对作物产量的净影响效应。

为了使估算更加精准，他们还构建了全球主要粮食作物 10 千米 × 10 千米网格的土壤有机碳产量空间分布图。

马煜卿介绍，全球尺度上，玉米的最大土壤有机碳产量差平均为每公顷 334~349 千克、小麦为每公顷 206~216 千克，而水稻为每公顷 174~180 千克。这意味着这些作物通过土壤固

碳可以实现的最大增产空间。

“从全球来看，理论上说，土壤固碳可增加 1.2 亿吨作物产量，相当于全球三大粮食作物总产量的 4.3%，有望解决全球 86% 的粮食短缺问题。”范明生说。

当前技术效应小于预期

他们的研究发现，当下，联合国政府间气候变化专门委员会在全球温室气体排放清单中确定的可大规模应用的农田固碳技术，如免耕、秸秆还田以及覆盖作物等，除了在一些热点地区有较高的固碳增产效应外，在全球尺度上仅能增加 2000 万吨的粮食产量，占全球粮食总产的 0.7%。

范明生解释说，这些热点地区是指土壤固碳增产效应明显的前 25% 的地区。这些地区的土壤有机碳含量低或者作物产量低，也是粮食短缺比较严重的国家或地区。

而在其他大多数地区，当前技术的土壤固碳产能提升效应不足以激励农民采纳以固碳技术缓解气候变化的全球性策略与政策。范明生说，如果期望通过土壤固碳来遏制气候变化，需要找到激励农民采纳农田固碳技术的措施，而不是假设农民通过获得更好的产量收益为其采纳固碳技术买单。

范明生认为，挖掘土壤固碳的产能提升效应迫切需要开发促进农田高效固碳的新技术，如应用生物炭、增加光合效率、培育地下部生物量增加的新品种，以及改造固碳土壤微生物类群等。同时，在全球或区域尺度上，优化分配可运输的有机资源到土壤有机碳产量差大及粮食短缺程度高的国家或地区，这也是挖掘土壤固碳的产能提升效应的有效策略。

就我国而言，当前技术的土壤固碳产能效应约为 530 万吨，其中玉米、小麦和水稻分别为 190 万吨、160 万吨和 180 万吨。我国约有 30% 的产区处于热点区域。在这些地区，当前技术仍具有较高的固碳增产作用。

但是，他们测算，我国农田土壤固碳产能提升的理论潜力巨大，远高于上述数值，分别为玉米 1200 万吨、小麦 1400 万吨和水稻 500 万吨，总量约占我国粮食作物总产的 5%，可满足我国约 1.8 亿人口的口粮需求。“但是，目前我们并不清楚什么技术能让上述潜力产能变为现实。”范明生说，这是下一步需要深入研究的问题。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41561-023-01302-3>

我国将加快推进 6G 技术研发与创新

据新华社电 记者 12 月 5 日从工业和信息化部获悉，工业和信息化部将深入推进新型无线、新型网络等关键技术的研发，推动行业加快补齐高端器件、基础软件等短板，加快推进 6G 技术研发与创新。

工业和信息化部副部长张云明表示，工业和信息化部会同各方系统推进 6G 愿景需

求研究、技术研发、国际合作等各项工作，指导成立 IMT-2030(6G)推进组，明确将 6GHz 频段划分给 5G/6G 使用，为 6G 创新发展提供政策保障。

张云明表示，6G 作为新一代智能化综合

性数字信息基础设施，需要全球产学研用各

方凝聚共识、集思广益、紧密合作。工业和信

息化部将坚持创新引领、体系攻关、应用牵引，加快 5G 融合应用发展，夯实 6G 应用基础，推动信息通信企业与垂直行业企业交流合作，携手构建 6G 应用生态。同时，秉持互利互惠、合作共赢原则，加强沟通、扩大共识、深化合作，推动形成 6G 全球统一标准。

(王锐阳 张辛欣)

报告显示：地球面临突破“临界点”危险

据新华社电 一份由 200 多名科学家撰写的科学评估报告指出，气候变化已使地球面临突破“临界点”的危险。临界点一旦被突破，可能会对关系人类生存的自然系统产生不可逆转的影响。

12 月 6 日，该报告在迪拜举行的第 28 届联合国气候变化大会(COP28)上发布。

“这些临界点构成了人类从未面临过的巨大威胁。”英国埃克塞特大学气候学家 Tim Lenton 说。他在亚马逊创始人杰夫·贝索斯创建的慈善组织——贝索斯地球基金的支持下领导撰写了这份报告。报告指出，各国展开紧急行动可以避免最坏的影响。

COP28 上，各国政府官员首次评估了具有里程碑意义的《巴黎协定》在遏制气候变化方面取得的进展。12 月 5 日，科学家在 COP28 上宣布，今年全球化石燃料的二氧化碳排放量或将

达到创纪录的 370 亿吨，比 2022 年增加 1.1%。监测气候政策的科学联盟“气候行动追踪”估

计，到 2100 年，各国按照《巴黎协定》要求采取的减排承诺行动，仍可能使全球气温比工业化前水平上升 2.5°C。

这份报告评估了 26 个气候临界点突破的潜在原因和可能性。这些临界点一旦被突破，就会使地球系统发生不可逆转的变化。

全球各地的珊瑚礁将面临最直接的风险。即使在目前全球变暖的情况下，它们也受到了威胁。格陵兰岛和南极洲的冰盖亦面临不可逆转的坍塌风险，这可能会在本世纪使海平面升高。

报告警告称，气温比工业化前水平高 1.5°C，北部森林、红树林和其他沿海生态系统就会面临风险；如果高 2°C，亚马孙雨林的大部分地区可能会被热带草原所取代，这将扰乱整个南美洲的生态，并导致更多的二氧化碳排放到大气中。

挪威奥斯陆大学政治学家、该报告合著者 Manjana Milkoreit 表示，考虑到临界点，亟须采取短期行动。未来 10 年或 20 年的人类决定可能会影响长达数千年地球上的生命。

美国普林斯顿大学气候学家 Michael Oppenheimer 表示，与潜在气候灾难的警告相比，日益频繁的极端天气事件和其他气候影响更有可能改变人们的想法，刺激人们采取行动。

此外，他说，如果政府采取积极行动保护公民免受气候影响，“人们就不必担心临界点”。

不过，这份报告也带来了希望。它列出了社会、政治和经济体系中潜在的积极因素，例如，风能和太阳能成本的下降促使越来越多的投资从化石燃料转向清洁能源领域。

Lenton 说，很明显，政府迄今为止推行的渐进式政策是不够的。“我们需要找到一些积极的转折点，以加速采取其他行动。” (李木子)



棕色沉积物标志着格陵兰岛冰盖正在迅速融化。

图片来源：Martin Zwick

全球首座第四代核电站商运投产

本报讯(记者陈彬)记者从清华大学获悉，12 月 6 日，我国具有完全自主知识产权的国家科技重大专项——华能石岛湾高温气冷堆核电站示范工程，顺利完成 168 小时持续运行考验，正式投入商业运行。这是全球首座第四代核电站，标志着我国成为世界首个实现模块式高温气冷堆核电站商业运行的国家。

华能石岛湾高温气冷堆核电站位于山东荣成。清华大学是技术研发主体，负责研发、总体技术方案及核岛主系统设备的设计；中国华能集团为示范工程建设营运主体；中国核工业集团为示范工程建设实施主体及燃料元件生产单位。项目联合上海电气、哈尔滨电气等制造企业，实现了研究、设计与加工制造的深度融合。核电站在 2012 年 12 月开工，2021 年 12 月首次并网发电，此次是在稳定电功率水平上正式投产转入商业运行。

示范工程配套建设了目前世界最大规模年产 30 万个燃料球的燃料元件生产线，以及 10 兆瓦大型氦气工程试验回路等一系列试验设施。

华能石岛湾核电站集聚了设计研发、工程建设、设备制造、生产运营等产业链上下游 500 余家单位，先后攻克多项世界级关键技术，设备国产化率超 90%。核电站的商运投产，对促进我国核电安全发展、提升我国核电科技创新能力等具有重要意义和积极影响。

依托这一工程，我国系统掌握了高温气冷堆设计、制造、建设、调试、运维技术，研发了高温气冷堆特有的调试运行六大关键核心技术，培养了一批具备高温气冷堆建设和运维管理经验的专业人才队伍，形成一套可复制、可推广的标准化管理体系，并建立起以专利、技术标准、软件著作权为核心的自主知识产权体系。

高温气冷堆核电站重大专项总设计师、清华大学核能与新能源技术研究院院长张作义说，高温气冷堆是国际公认的第四代核电技术先进堆型，是核电发展的方向，具有“固有安全性”，即在丧失所有冷却能力的情况下，不采取任何干预措施，反应堆都能保持安全状态，不会出现堆芯熔毁和放射性物质外泄。



清华大学供图

科学家在单自旋量子体系中检验贾辛斯基等式

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学中国科学院微观磁共振重点实验室杜江峰院士、荣星教授课题组与北京理工大学尹璋琦教授合作，在量子热力学领域取得重要进展。研究团队基于金刚石 NMR - 空位(NV)色心体系对贾辛斯基等式进行了实验检验。相关研究成果日前发表于《物理评论快报》。

贾辛斯基等式是少有的以等式形式出现且对非平衡过程也成立的热力学定理。它将系统不同状态之间自由能之差与为改变系统状态所做的功的指数形式联系起来，从而为自由能的测量提供了捷径。突破了以往自由能测量只能依靠耗时较长的绝热或近绝热过程的限制，可以通过快速的非平衡过程测量自由能。该等式于 1997 年被提出后，在很多经典系统中得到了检验。然而，它未在多能级量子系统中得到严格的实验检验。主要是因为其检验需要在能量基底对系统进行投影测量，而实现多能级系统高保真度投影测量

非常具有挑战性。

该工作中，研究团队通过对单个 NV 色心中氮十四原子核自旋状态实现高保真度投影测量，从而对贾辛斯基等式开展了检验。实验中通过级联两个单次读出，实现了三能级核自旋状态的投影测量。

贾辛斯基等式是少有的以等式形式出现且对非平衡过程也成立的热力学定理。它将系统不同状态之间自由能之差与为改变系统状态所做的功的指数形式联系起来，从而为自由能的测量提供了捷径。突破了以往自由能测量只能依靠耗时较长的绝热或近绝热过程的限制，可以通过快速的非平衡过程测量自由能。该等式于 1997 年被提出后，在很多经典系统中得到了检验。然而，它未在多能级量子系统中得到严格的实验检验。主要是因为其检验需要在能量基底对系统进行投影测量，而实现多能级系统高保真度投影测量

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.220401>

研究实现量子点激光相干动力学的磁场调控

本报讯(见习记者孙丹宁)中国科学院大连化学物理研究所研究员吴凯丰团队在量子点激光相干动力学研究中取得新进展。他们利用磁场调制的量子点拍频光谱技术，揭示了通过磁场调控钙钛矿量子点带边激子偏振的原理，实现了近室温下激子相干动力学的定量操控。近日，相关成果发表于《先进材料》。

量子点的带边激子精细结构由电子 - 空穴交换作用产生，带边激子可以按照角动量分为明态和暗态。由于存在形貌或晶格的对称性破缺，明态激子可以进一步裂分为线偏振的一系列激子能级。这些丰富的激子精细结构在量子科技领域具有广阔的应用前景，既可以用于单光子发射，也可以实现激子态的相干操控。然而，由于明态激子间的相干寿命较短，观察以及调控这一退相干过程十分困难。

该工作展示了近室温下对量子点激子本征态和相干动力学的定量操控，对于将磁场调制的激子本征态和相干态应用于量子信息处理具有启示意义。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1002/adma.202309420>

该工作中，研究团队以 CsPbI₃量子点为研究对象，在近室温下通过施加磁场，观察到并调控了带边明态激子之间的相干动力学。研究发现，随着磁场增大，交换劈裂产生的线偏振激子态逐渐趋近于由塞曼劈裂产生的圆偏振激子态。在此基础上，圆偏振光激发产生的激子相干拍频会逐渐被抹除；相反，用线偏振光激发产生的激子相干拍频会越来越显著。这些实验观测的相干动力学过程可以基于 Lindblad 主方程实现较好的理论模拟。

该工作展示了近室温下对量子点激子本征态和相干动力学的定量操控，对于将磁场调制的激子本征态和相干态应用于量子信息处理具有启示意义。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1002/adma.202309420>

该工作中，研究团队以 CsPbI₃量子点为研究对象，在近室温下通过施加磁场，观察到并调控了带边明态激子之间的相干动力学。研究发现，随着磁场增大，交换劈裂产生的线偏振激子态逐渐趋近于由塞曼劈裂产生的圆偏振激子态。在此基础上，圆偏振光激发产生的激子相干拍频会逐渐被抹除；相反，用线偏振光激发产生的激子相干拍频会越来越显著。这些实验观测的相干动力学过程可以基于 Lind