
科学家开发扩展的非线性充电振子模型，量化气候模态相互作用对厄尔尼诺可预报性的影响

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/27826.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家开发扩展的非线性充电振子模型，量化气候模态相互作用对厄尔尼诺可预报性的影响。北京时间2024年6月26日，美国夏威夷大学大气科学学院金飞飞教授团队在《自然》杂志（Nature）发表题为Explainable El Niño predictability from climate mode interactions的研究论文。

研究团队开发了一个结合观测资料的扩展的非线性充电振子（XRO）模型，它能够提供16-18个月的厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）预测，技巧优于业务的全球动力模型，并媲美最先进的人工智能预测；这项研究首次系统地量化了全球海洋中主要气候模态对ENSO可预测性的影响，增强了ENSO可预测性的理解。

夏威夷大学赵森助理研究员为论文第一作者，金飞飞教授为论文通讯作者，论文共同作者包括夏威夷大学Malte F. Stuecker副教授，Philip R. Thompson副教授，韩国首尔国立大学Jong-Seong Kug教授，美国国家海洋和大气管理局Michael J. McPhaden教授，美国哥伦比亚大学Mark A. Cane教授，美国国家海洋和大气管理局Andrew T. Wittenberg资深研究员，澳大利亚科学院院士蔡文炬教授。

厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）是地球上最强、最显著的年际气候变化现象，带来了海洋温度、风和天气的变化，可能引发洪涝、干旱、高温等极端天气，导致作物减产和粮食危机。最近发生的2023-2024年强厄尔尼诺事件显著影响了全球的天气、气候、生态系统和经济。由于ENSO对全球环境和社会经济的巨大影响，科学家们几十年来一直致力于改进ENSO预测。目前，国际气象行业主要应用动力模式进行ENSO预测，但提前9个月以上预测ENSO仍面临巨大的挑战。近年来，人工智能（AI）技术已在天气预报和气候预测等应用领域取得了重大进展，可以提前18个月预测ENSO（Ham et al. 2019, Nature）。然而，由于AI模型的黑箱特性，这些AI预测的准确性无法归因于具体的物理过程，从而降低了对AI未来事件预测成功的信心。特别是在全球持续变暖、热带太平洋发生显著变化的情况下，从物理本质上理解ENSO的可预报性来源显得尤为重要。

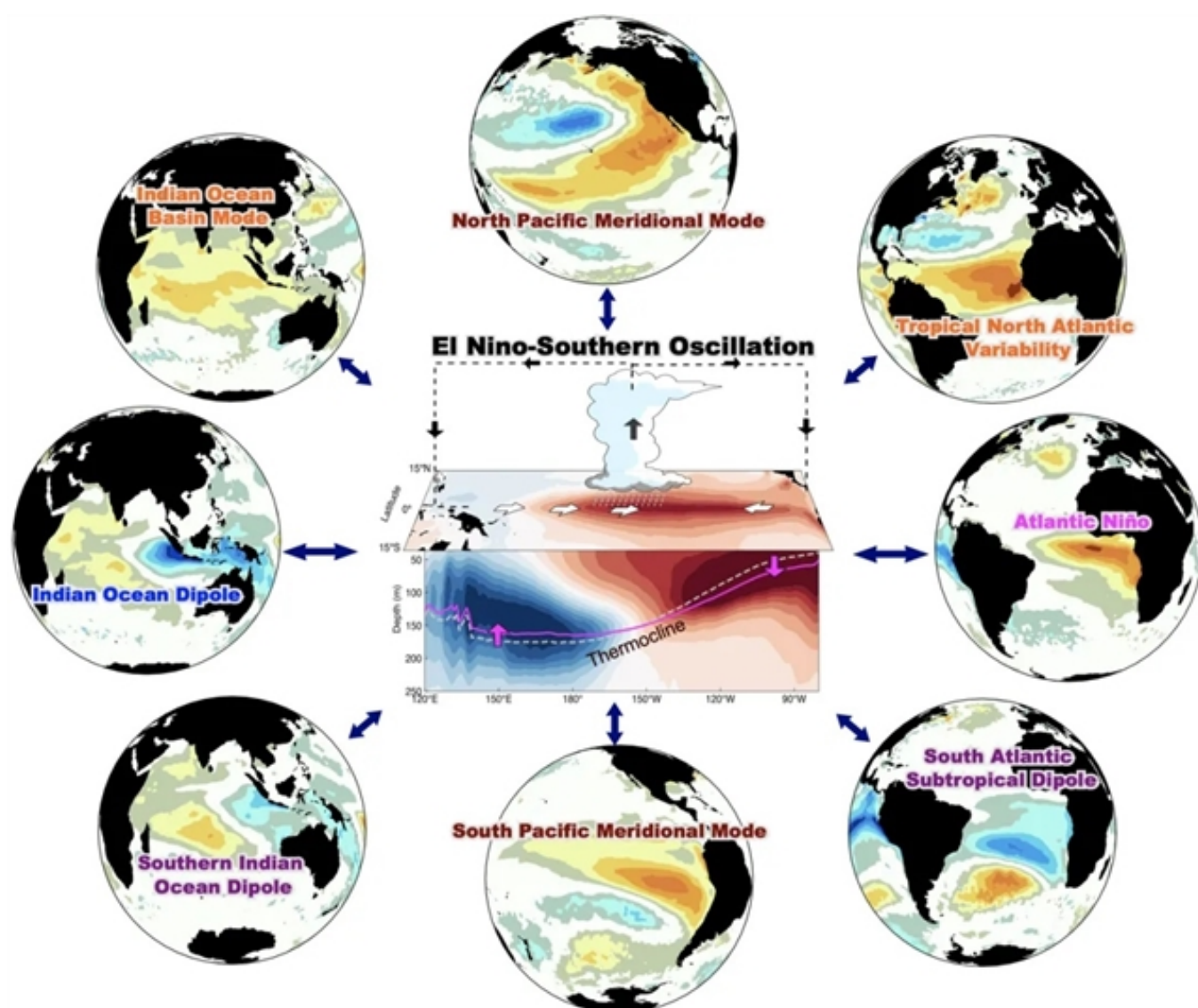


图1. 厄尔尼诺南方涛动(ENSO)与全球海洋的主要气候模态的相互作用可以提高ENSO预测技巧。
来源：赵森，夏威夷大学

金飞飞教授在1997年提出的ENSO充电-放电振子（Recharge-Discharge Oscillator, RO）模型，是解释厄尔尼诺-南方涛动现象的基本理论之一。该模型描述了热带太平洋海洋和大气之间的相互作用，调节赤道太平洋的海洋热含量的充电和放电过程，进而解释ENSO的发展和相位转变。RO理论对理解ENSO的核心物理机制在观测和气候模型模拟中至关重要。

在经典RO模型的基础上，金飞飞教授团队进一步考虑ENSO与全球海洋其他气候模态的相互作用，开发了一个扩展的非线性充电振子（XRO）模型。XRO模型有效地结合了ENSO的基本物理规律以及ENSO与全球海洋中其他主要气候模态的季节性相互作用，包括三个关键组成部分（图1）：（1）改进的非线性充电-放电振子（nRO）模型，用来描述了ENSO发展和在冷暖位相之间的转化，在经典RO模型基础上，考虑了大气和海洋的非线性相互作用和季节调制；（2）Hasselmann随机气候模型（Klaus Hasselmann, 2021年诺贝尔物理学奖获得者），描述了由于快速变化的天气活动引起的表面热通量，导致全球海洋不同区域的海表温度模态的持续和演变；（3）通过仅二个变量的nRO模型和一个仅八个变量的Hasselmann随机气候模型的耦合，组合成只有十个变量XRO模型，用来描述ENSO与全球海洋其他主要气候模态之间的相互作用。

虽然XRO模型只有十个变量，远远低于全球动力模型和AI模型的自由度，但它在模拟和预测ENSO性能上表现出色，而且其预测技巧优于现有的业务动力气候模型，并可媲美最先进的AI模型（图2）。与AI模型的黑箱结构不同，XRO模型提供了对改进ENSO可预测性所涉及的基础物理机制的透明视图。这项研究首次系统地量化了副热带太平洋、热带印度洋和热带大西洋的主要气候模态对ENSO可预报性的影响（图3），并估计其他气候模态对ENSO强度的贡献（图4）。研究结果表明，北太平洋、热带印度洋和大西洋的初始状态显著增强了ENSO的可预测性，不同区域的气候模态展现出独特的季节特征（图3）。该项研究厘清了国际上关于不同海域对ENSO动力过程和可预报性影响的争议，加深了对ENSO物理机制及其可预测来源的理解。

研究还利用了XRO模型框架对国际耦合模式比较计划CMIP5和CMIP6的91个气候模型的历史时期模拟，定量评估了这些气候模型在赤道太平洋的关键ENSO物理过程、以及ENSO与其他大洋主要气候模态相互作用的表现，并分析模式模拟的偏差对ENSO预测技巧的影响。研究表明，CMIP动力气候模型的偏差是导致它们在预测ENSO技巧偏低的原因。要改进ENSO预测，气候模型必须正确模拟好赤道太平洋ENSO的关键物理过程，以及刻画好全球海洋中其他气候模态的初始状态、海洋随季节变化的记忆性、以及与ENSO相互作用的强度。通过追踪这些动力模型的偏差，我们可以有针对性地改进我们的气候模型，进而改进我们的短期气候预测和未来气候的预估，这对于社会应对气候相关的灾害准备和适应至关重要。

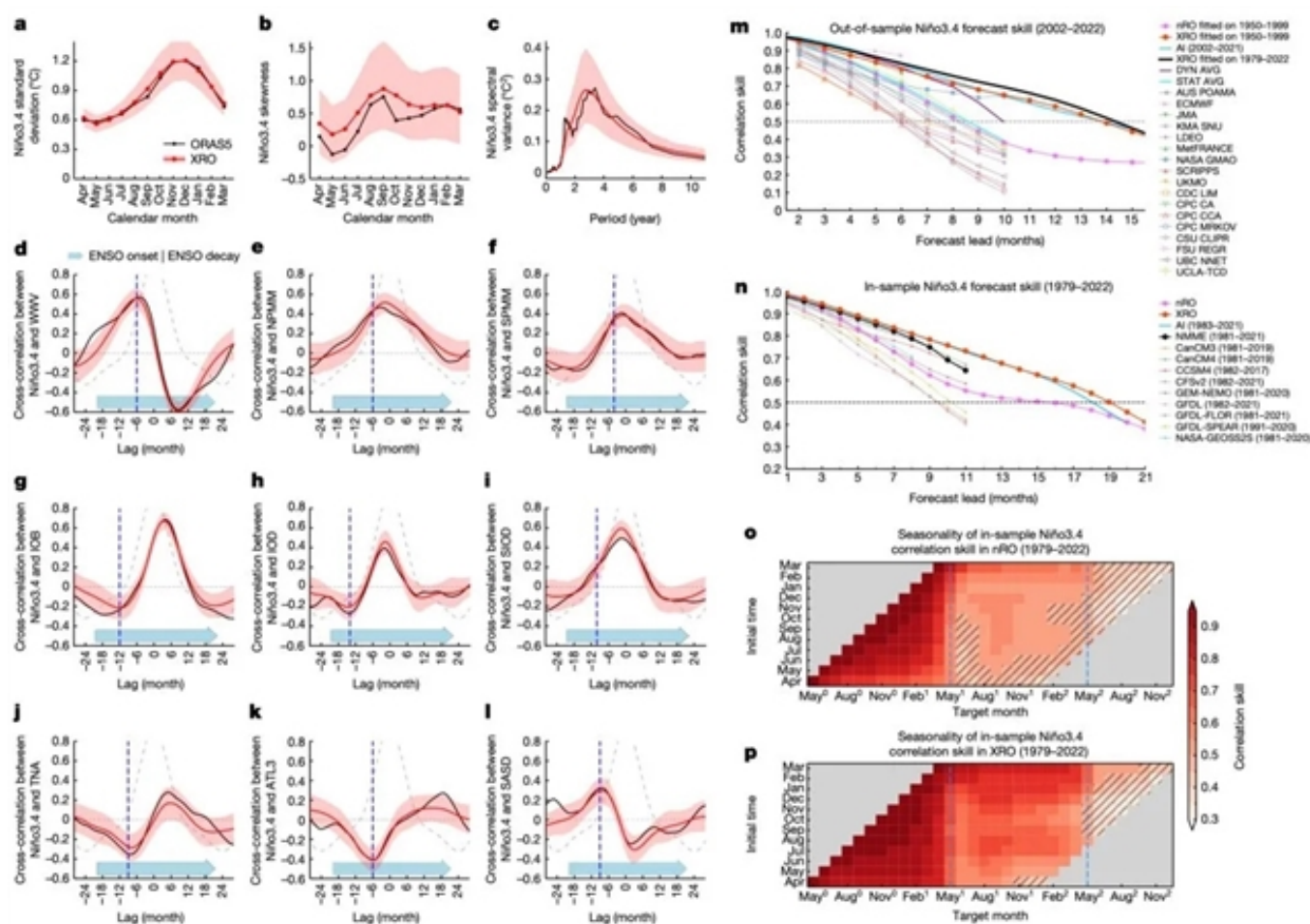


图2. 扩展的非线性充电振子(XRO)模型在模拟和预测ENSO的出色技巧 (Zhao et al. 2024)。(a-l) ENSO以及与其他气候模态的关系，黑色为观测，红色为XRO模拟；(m-n) Niño3.4预测相关系数技巧，红色XRO模型，洋红色为经典充放电振子模型(nRO)，蓝色为AI模型

，其他为业务预测系统包括动力和统计模型；（o-p）经典充放电振子nRO模型和扩展充放电振子XRO模型的Niño3.4预测相关系数技巧的季节变化，蓝色虚线指示春季可预报性障碍。

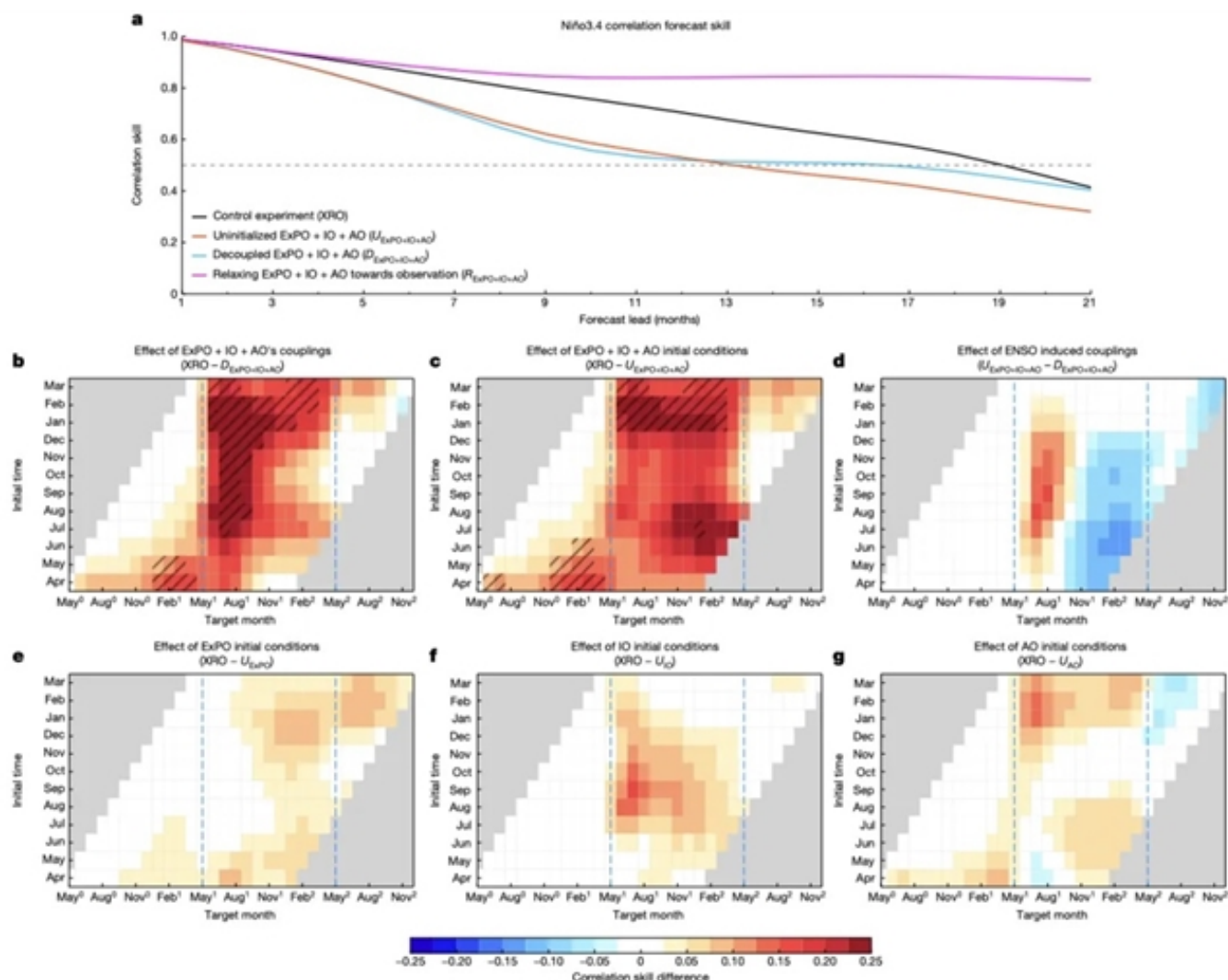


图3. ENSO与副热带太平洋、热带印度洋和热带大西洋的气候模态的相互作用对ENSO预测技巧提升的定量化（Zhao et al. 2024）。

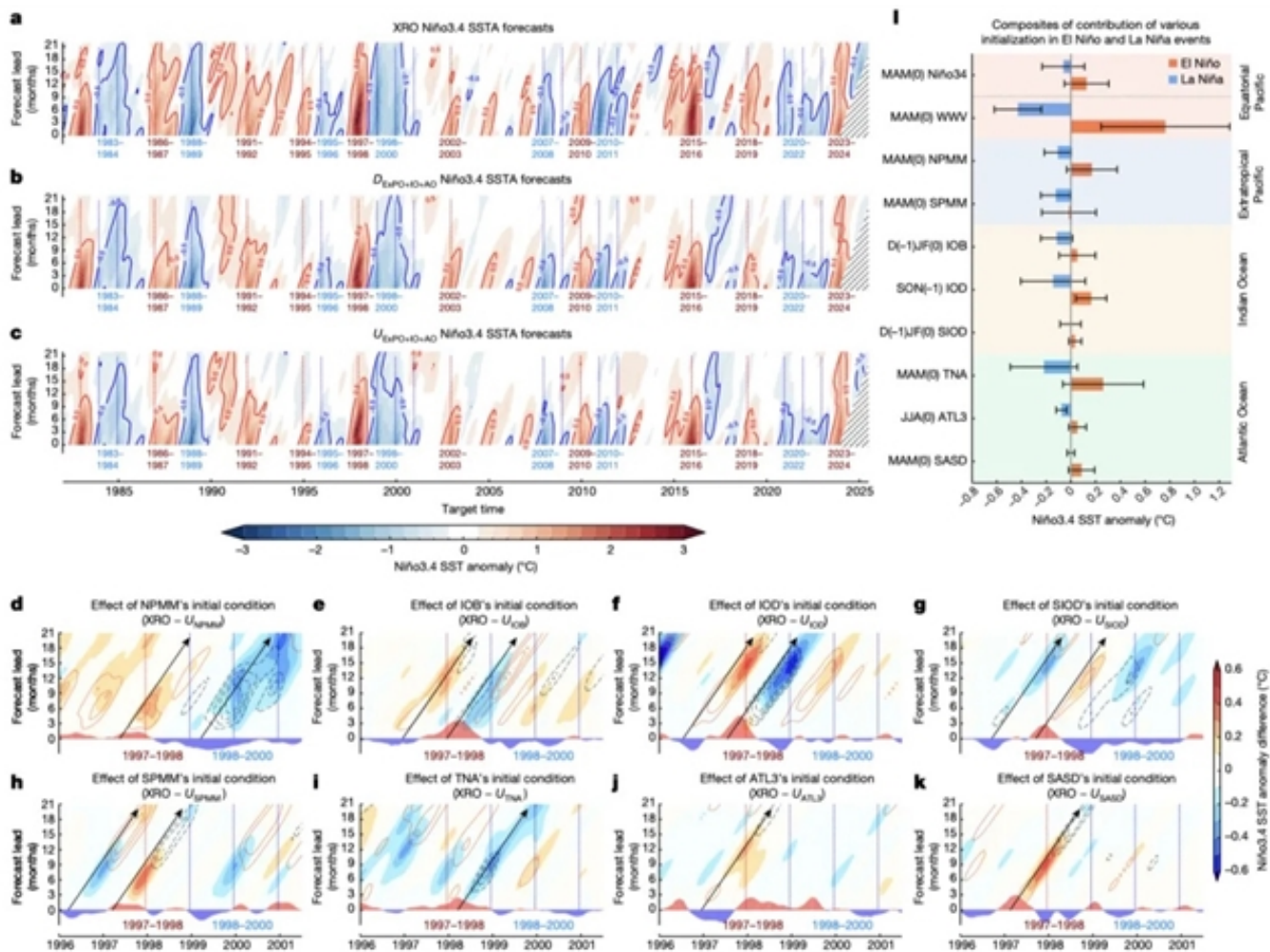


图4. 副热带太平洋、热带印度洋和热带大西洋的气候模态对历史ENSO事件强度的影响的量化 (Zhao et al. 2024)。

这项研究得到了美国国家科学基金会项目，美国国家海洋和大气管理局气候计划办公室的建模、分析、预测和预估计划项目和美国国家航空航天局资助项目的联合支持。（来源：科学网）

夏威夷大学SOEST新闻报道：<https://www.soest.hawaii.edu/soestwp/announce/news/el-nino-forecasts-18-months/>

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-024-07534-6>

作者：金飞飞等 来源：《自然》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发