

最厉害的“内卷”在动物界

科学家揭示球金龟成球行为之谜

■本报记者 李晨阳

人类“内卷”，动物也“内卷”——能把自己卷成“球”。玃狨、穿山甲、刺猬、球马陆、球鼠妇等，在遇到危险时能迅速卷成紧密球体，保护其腹部、四肢等脆弱部位。

“这种行为甚至还有一个专业名词——成球行为。”中科院动物研究所（以下简称中科院动物所）研究员白明告诉《中国科学报》。

近日，由中科院动物所牵头、中意德国科学家合作完成的一篇论文发表于《通讯生物学》。此文针对一种小小的昆虫——球金龟，揭示了它们“成球”的“内卷”之谜。

“球”与“非球”区别在哪儿？

在各种动物类群中，昆虫的身体结构其实并不适于成球。

“因为它们的身体躯干只有头胸腹三个体节，很难形成紧密的球形。大多数情况下，身体腹部、足等部位会不可避免地外露。”论文共同通讯作者之一白明解释道。

但有一些“小家伙”却做到了。

球金龟是金龟总科、驼金龟科、球金龟亚科昆虫的统称，目前已知 44 属 448 种，分布在泛热带区。这类昆虫比较罕见，主要生活在白蚁巢、枯枝落叶层和朽木等隐秘生境中。

虽然都被称为球金龟，但它们的身手却差距较大——一些球金龟只能形成松散球形，或者完全不能成球，而另一些则能形成紧密球形。

“球”与“非球”的区别到底在哪儿？研究人员通过几何形态学定量分析了



球金龟

张巍巍摄

全球 74 种球金龟的形态特征，发现在 3 种不同的成球类型（不能成球、松散球形、紧密球形）中，球金龟的头、前胸背板、鞘翅和足等结构均有稳定差异。

进一步结合显微 CT 和三维重建技术，研究人员首次发现，紧密型球金龟在体壁厚度上存在异速生长现象，也就是球外侧（前胸背板和鞘翅）的体壁厚度显著厚于内侧体壁（胸部和腹部腹面），而它们的体壁厚度也与不能成球的金龟有显著差异。

“我们推测，这可能是在能量有限的情况下的一种权衡策略。”论文第一作者、中科院动物所博士后路园园说，“当组成体壁的物质有限时，更多的材料被分配到球的外侧，而被包裹在球内的体壁组成材料则相对较少。”

成球行为从何而来？

在此之前，球金龟的成球行为演化历史并不清晰。仅有一块化石记录表明，松散球形种类可能最早出现在新生代（约 2500 万至 1500 万年前）。

这一次，研究人员详细调查了不同产地和地质时间的化石。幸运的是，他们在克钦琥珀和多米尼加琥珀中都发现了球金龟的存在，并且首次在中生代（约 1 亿年前）记录了松散球形的新属种，以及新生代紧密球形的新种。

这些发现不仅将球金龟成球行为的起源提前了约 8000 万年，也是昆虫中成球行为的最早记录之一。

化石初步串联起了球金龟的成球之路，为成球行为的演化揭开了冰川一角。

“我们的研究结果表明，成球行为在球金龟中是单次起源的，即从不成球到松散球形，最后到紧密球形的演化顺序，其中也伴随着在少量节点上的反转。”路园园说。

与成球关系密切的身体结构包括头、前胸背板和鞘翅，它们的演化过程并不相同。论文重要作者、中科院动物所研究员邹征延说：“中生代球金龟首先经历了鞘翅的快速适应演化，为成球行为形成奠定了基础，前胸背板紧随其后，最后在新世代球金龟头部快速演化，为紧密球形的形成补上了关键一环。”

为什么要变成“球球”？

看似简单一卷的成球行为，背后却有如

此复杂的结构演变。那么，动物为何要演化出这样的行为呢？

“科学家们推测，成球行为可能源于防御和生理功能，例如保水能力和温度调节能力。”路园园说，“比如鼠妇就缺乏陆生节肢动物应有的气门系统，所以需要靠成球来减缓体内水分散失，从而适应登陆后的生活。”

而对球金龟而言，抵抗天敌袭击也是成球行为的一个重要因素。研究人员选择球金龟与另外两种金龟——驼金龟和鳃金龟，开展了机械力学分析，发现在被天敌直接攻击的特定场景下，卷曲成球的球金龟可以抵抗更大的咬合力而不变形，表现出更为“抗揍”的特性。

“这些球金龟的‘抗揍’特性，一方面得益于球形结构本身，另一方面也归功于更厚的外侧体壁，以及体壁本身较强的机械性能。”另一位论文共同通讯作者、中科院动物所研究员顾奇说。

有趣的是，球金龟中松散球形种类主要生活在枯枝落叶层，紧密球形种类主要生活在白蚁巢穴中，研究人员由此提出了“攻击者压力”假说——来自白蚁的威胁驱动了球金龟成球行为的复杂化。

人们还发现，惊扰到某些生活在树冠上的球金龟时，它们会迅速成球从而掉落消失。“对那些生活在开放环境的球金龟来说，球形有助于其通过滚动快速逃脱。我们认为，这更可能是紧密球形个体在重新适应开放环境中成球行为的二次适应性演化。”白明说。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s42003-022-03685-2>

简讯

中国遥感卫星地面站接收“句芒号”卫星数据

本报讯 近日，中科院空天信息创新研究院中国遥感卫星地面站成功接收陆地生态系统碳监测卫星“句芒号”数据。中国遥感卫星地面站密云站成功跟踪、接收陆地生态系统碳监测卫星 8PSK-800Mbps 模式和 VCM 模式两种不同调制方式的下行数据，喀什站成功接收到陆地生态系统碳监测卫星载荷观测数据。三次接收任务总时长 25 分钟，数据量约 306GB。（高雅丽）

国内首个中兽医针灸国家标准发布

本报讯 近日，中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所牵头起草的首个中兽医针灸国家标准《动物腧穴名称与定位 马属动物》通过国家标准化管理委员会批准发布，将于 2023 年 2 月 1 日起正式实施。该标准系统规定了马属动物腧穴体表定位的方法、名称确定原则和 180 个腧穴的名称及其定位，适用于兽医针灸的教学科研、临床治疗及学术交流等。（李晨）

致敬科学家·奋进新时代 最美科技工作者风采录

张卫东：守正创新 做中国的原创新药

■本报记者 张双虎 ■黄辛

让世界“信任中药、用准中药、用优质中药”不仅是中医药发展目标，也是关乎临床安全和疗效的重大命题。

为阐明中药药效的物质基础，解析其作用机制并研发中国人自己的原创新药，海军军医大学药理学天然药物化学教研室主任张卫东教授 30 年扎根科研一线，开展中药及复方药效物质基础研究。他守正创新，以国际规范的循证医学方法研制新药，开发出多款进入临床的中药活性成分和新药。

不久前，张卫东获得 2022 年上海“最美科技工作者”称号，用实际行动树立了科研工作者的时代“标杆”。

解析中药作用机制

中药复方是中医用药的主要形式，阐明中药复方的药效物质基础，解析其作用机制、保障药品质量、明晰临床定位已经成为我国中药产业可持续发展的关键瓶颈问题。

为此，张卫东带领团队不断攻关，相继建立了中药方剂有效成分群辨识技术阐明药效物质基础，建立了系统生物学与网络生物学相结合的技术解析作用机制，建立了生产链全过程自动化控制技术保障用药质量，同时开展了国际规范的循证医学研究明晰临床定位。

从 2004 年起，张卫东团队经过 16 年科技攻关，使上海最大的中药品种——麝香保心丸实现了 30%以上的年增长。2020 年，该药产量达 25 亿粒，单品种销售额达 22 亿元，产业规模位列全国中药微粒丸制剂产业第一。

中国科学院院士、中国中医科学院首席研究员陈可冀表示，麝香保心丸是我国心血管治疗领域的著名中成药，始终坚持走循证

发展之路，注重学术研究及基础研究，是继承、发展、创新中国传统医药的典范。

同时，张卫东还为国内 60 家企业的 40 个中药方剂提供技术服务。目前有超过 2.5 万家医院的 1.5 亿人次使用相关产品。其技术和服务遍及大江南北；通过提升产品的科技含量和药品质量，企业累计销售额达 169 亿元，近 3 年新增 149 亿元，产生了巨大的社会和经济效益，推动中药产业高质量发展，对中药复方大品种开发具有很好的示范效应。

此外，他主持的中药复方现代研究项目“基于整体观的中药方剂现代研究关键技术的建立及其应用”获 2018 年国家科技进步奖二等奖。

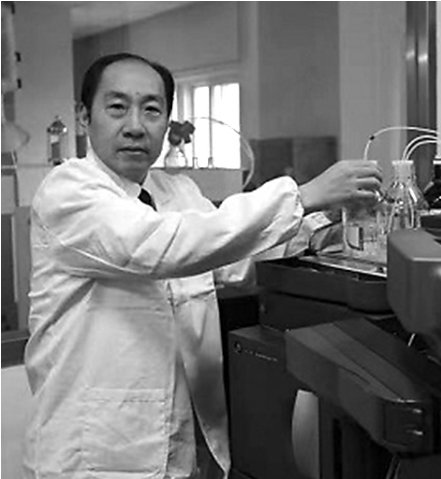
做中国的原创新药

中药创新药物研究的关键科学问题是阐明中药药效的物质基础和作用机制。

张卫东率先提出基于中药的创新药物研究策略。即“解析中药药效物质基础—发现中药作用新靶标—验证新靶标功能与结构优化—研发创新药物”。按照这一策略，他带领团队走出了一条具有中国特色的创新药物研发之路。

中药药效物质基础研究是新药发现的源头。张卫东创新应用多维色谱串联技术，从旋覆花等 23 个属 170 余种中药中分离鉴定出 7600 余个天然化合物，其中新化合物 1000 余个、新骨架化合物 57 个。

利用这一技术，张卫东团队承担了国家天然药物样品库的建设，建成了涵盖 8000 种中药组分、7600 种中药化学成分样品库，为我国中药新药创制提供了重要基础平



张卫东在实验室工作。

受访者供图

台。在《美国化学会志》、英国皇家化学会《化学通讯》等国际期刊发表论文 86 篇，其中 6 个中药活性成分已进入临床研究。

新靶标的发现是创新药物的核心。张卫东采用化学生物学技术，创新性利用中药活性成分寻找分子新靶标，发现了 20 余个活性成分的新靶标；发现了国际上首个泛素 E2 酶 Ub_cH5 的选择性抑制剂 J1-5，首次报道 E2 泛素结合酶 Ub_cH5c 是治疗胰腺癌的有效药物靶标；发现了第一个特异性识别 AP-1 靶基因的中药成分藜芦胺。

目前，张卫东利用自主发现的新靶标开发的两个创新药物已进入临床。他带领的团队在中药创新药物研究领域也取得丰硕成果，获得新药证书两项（仙黄颗粒和藤络宁胶囊）、临床批文 7 项。具有自主

知识产权的治疗冠心病的中药一类新药“黄氏甲甘”已完成 3 期临床研究；研发国内第一个进入美国食品药品监督管理局 II 期临床的多发硬化症治疗新药 ZD03。他还获得国内发明专利 41 项、国际发明专利 7 项；其基于中药创新药物的系统研究获国家科技进步奖二等奖。

同时，张卫东还积极解决中药行业“卡脖子”关键技术，首次提出系统生物学与网络药理学相结合的策略与方法，构建了中药方剂现代研究体系。在国际上出版了基于整体观的中药方剂研究中英文专著两部；申请发明专利 35 项，授权 26 项。

“争分夺秒努力坚持”

2020 年初，抗击新冠肺炎的战役打响，国务院联防联控攻关组成立国家中医药专班，张卫东担任研究组副组长并主动请缨承担国家重点研发计划应急项目——“清肺排毒汤的科学基础研究”。他带领课题组废寝忘食，冲在抗疫一线，完成了国家抗疫药方“清肺排毒汤”的工艺质量及作用机理研究，并在国际著名杂志上发表多篇研究论文，系统阐明了清肺排毒汤的作用机理，向世界证明了中国医药治疗新冠肺炎安全有效。

目前，“清肺排毒颗粒”已获国家新药证书。张卫东也被评为“全国抗疫先进个人”，受到科技部和国家中医药管理局的表彰。

这位曾获“国家杰出青年基金”“教育部长江学者”“上海市优秀学科带头人”“吴阶平医药创新奖”等荣誉的科学家在科研之余还热衷跑步。他每周跑 3 次，每次 5 公里。在他看来，“科研与跑步一样，都要争分夺秒，努力坚持”。

发现·进展

中国科学技术大学

提出并实现新型量子随机数发生器

本报讯（见习记者王敏）中国科学技术大学郭光灿院士团队中的韩正甫教授及其合作者王双、银振强、陈巍等，提出了一种新型半设备无关量子随机数发生器协议，并进行了实验验证。该协议在光源不可信条件下，无需对探测设备进行表征，使用日常光源即可快速生成安全的量子随机数。该协议全面提升量子随机数发生器的安全性与实用性，为半设备无关量子随机数发生器的实用化奠定基础。相关研究成果日前在线发表于《物理评论快报》。

量子随机数发生器基于量子物理原理产生具有内禀随机性的真随机数，是量子保密通信中的关键环节。然而，现实中的量子随机数发生器可能具有的非理想性会破坏随机数的不可预测性和私密性。半设备无关量子随机数发生器则提供了一种可行的安全方案。但因已有的半设备无关方案忽略了一些关键因素对其性能的影响，限制了其在现实条件下的应用。

针对这一问题，韩正甫课题组展开深入研究，于 2020 年提出容忍探测器后脉冲的源无关协议，2022 年进一步降低了源无关量子随机数发生器对非理想因素的敏感性。这些工作虽然显著提高了源无关量子随机数发生器的实用性，但仍然需要对测量设备进行精确表征。

近日，该课题组基于平滑熵的不确定关系和量子剩余哈希定理，提出了一种不需要对测量设备进行表征的新型半设备无关量子随机数发生器协议，并证明了该协议在源端不可信和探测端无表征条件下的安全性。他们同时使用卤素灯这一日常光源和激光器完成了验证实验，产生的随机数速率不仅与目前商用随机数发生器相当，安全性还显著优于后者。

该成果在保证随机数快速生成和系统简洁实用的同时，大幅降低了对设备可信度和刻画表征的要求，其思想和实现方案对突破高性能、高安全量子随机数发生器的研究瓶颈具有重要推动作用。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.050506>

中科院古脊椎动物与古人类研究所

发现史前人群利用鸟类资源系列证据

本报讯（记者崔雪芹）近日，中科院古脊椎动物与古人类研究所高星团队副研究员张乐等对水洞沟第 12 地点出土的 414 件鸟类骨骼进行了埋藏学研究，深入探讨了史前人类的鸟类开发利用策略，相关文章发表于《考古学与人类学科学》。这项工作为中国乃至世界范围内古人类与鸟类关系的探讨与研究提供了一个重要的区域性案例。

近 30 多年来，越来越多的考古发现表明，早在旧石器时代中期，古人类与鸟类之间就产生了极为密切的联系：在营养物质的开发利用之外，史前人群还将鸟类的羽毛和爪子制成装饰品、肢骨制成工具和乐器等。但是，上述研究工作大都局限于旧石器时代的欧洲和西亚，而中国乃至东亚却鲜有鸟类与史前人类关系的研究报道。

水洞沟第 12 地点的鸟类以鸡形目（环颈雉、石鸡和山鹧）为主，鹰形目（胡兀鹫、大鸢和普通鸢）和鸢形目（雕鸮等）等肉食性鸟类次之。

文章指出，古人类在鸟类骨骼表面造成的切割、敲砸、烧烤与劈裂等痕迹主要分布于鸡形目的多肉部位（如胫骨近端、股骨和胫骨等）及猛禽类前肢的肢端部分；这一现象表明，水洞沟先民可能对前者进行了较为彻底的营养性利用，而对后者则进行了获取羽毛的处理。

民族学研究显示，现代狩猎采集群体存在以肉食性鸟类羽毛作为装饰品以彰显其狩猎能力或社会地位的传统习俗；水洞沟第 12 地点的古人类可能也以遗址附近获取的猛禽羽毛作为个人装饰以吸引其他社会成员或群体的注目。

遗址中胡兀鹫及鸵鸟肢骨碎片上刮削痕迹的出现表明，它们与史前人群的骨制品制作工艺有关；水鸟和幼鸟骨骼材料的缺失指示古人类可能主要于冬季活动在水洞沟第 12 地点及周边区域；织网类工具及环颈雉雕啄个体数量的明显差异则显示，水洞沟古人类可能采用了两种捕鸟方式——网套及选择性弓箭猎杀。

水洞沟第 12 地点古人类在鸟类捕猎技术、营养物质开发及非营养性物质利用等方面都与同时期欧洲和西亚地区的考古记录较为相似。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1007/s12520-022-01623-1>

广东省科学院生态环境与土壤研究所

揭示海水入侵活化稻田土壤重金属机制

本报讯（记者朱汉斌）记者日前从广东省科学院生态环境与土壤研究所获悉，该所研究员刘同旭团队研究揭示了海水入侵活化稻田土壤重金属的机制。相关成果分别发表于《环境科学与污染研究》和《光化层》。

周期性潮汐和海平面上升带来的海水入侵，导致周边土壤含盐量增加，改变土壤性质及污染物的迁移转化过程。对于稻田干湿交替条件下重金属在土壤—水界面上的形态转化过程，目前已有大量研究，但关于稻田中海水入侵引起重金属活化机理及其环境风险的研究较少。

在本项工作中，研究人员围绕海水盐离子与土壤相互作用的过程，以稻田镉为研究对象，采用室内培养实验模拟海水入侵稻田土壤的情景，研究了海水入侵对稻田镉有效性的影响。研究发现，镉氯络合物的形成和电荷零点的提高是导致镉在土壤—水界面解吸的主要原因，明确了海水入侵对稻田土壤厌氧—好氧条件下镉有效性的驱动机制，发现海水显著增强了好氧期镉的再活化作用，这可能会增加镉在稻米中的积累程度。

该研究结果阐明了海水入侵条件下稻田土壤镉的热力学分配过程与动力学转化过程，可为我国滨海海水倒灌区稻田土壤镉污染的风险评价与治理提供理论依据。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1007/s11356-022-20606-2>
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135805>