

揭秘热带海洋影响东亚气候的「开关」

极端天气频发,背后的“遥控器”在哪?远在千里之外的热带海洋,如何影响东亚的晴雨冷暖?近日,大气与海洋科学系张人禾院士和周震强副教授的研究成果《热带海洋影响东亚季风的物理过程:西太反气旋的形成和维持机制》荣获教育部自然科学研究成果奖一等奖,他们破解的,正是隐藏在气候异常背后的“遥控密码”。

这项始于上世纪90年代的研究,首次系统揭示了热带太平洋、印度洋等海域的温度变化如何通过大气环流中的关键系统“西北太平洋异常反气旋”精准影响东亚季风与我国极端降水。该研究不仅解开了横跨大洋的气候影响之谜,也为我国应对复杂天气气候挑战提供了坚实的科学支撑。这一重大成果的背后,并非一场突如其来灵感爆发,而是团队几十年循序渐进的积累产生的突破。

发现跨越大洋的气候“开关”

中国科学院院士张人禾教授的办公室墙上挂着两幅地图。其中一张世界地图,清晰标注着全球大洋分布。经过日复一日的研究,张人禾解决了一个长期困扰学界的问题:远在万里之外的热带中东太平洋海洋温度变化,如何像一只无形的手,操纵着东亚的晴雨冷暖?

这个问题的关键“桥梁”就是西北太平洋异常反气旋(简称“西太反气旋”)。

这个异常反气旋,正是厄尔尼诺影响东亚气候的“开关”。张人禾介绍道,西太反气旋通过改变大气环流格局和水汽输送路径,进而影响东亚季风强度和我国东部地区的降水。“此前一直不清楚赤道中东太平洋的海温异常如何影响远在太平洋西岸附近的东亚季风,我们在国际上第一个系统揭示了其背后完整的物理过程。”

“印度洋的异常加热,正是通过激发西太反气旋,将大量水汽输送到长江流域,导致了2020年破纪录的极端降水。”获奖者周震强副教授介绍道。

张人禾对比着地图解释,团队的这些发现,将原本看似孤立的热带海洋异常与东亚区域气候紧密联系起来。研究开创了西太反气旋链接热带海洋异常这一新的研究方向,系列成果被大量引用,在国际学术界取得了广泛影响。

上述系列研究成果已成为国家相关业务部门的重要监测指标,为提升东亚季风及其相关联的极端降水事件的监测和预测水平提供了一个重要的科学基础。

“知识就是一个圈”

上世纪90年代,张人禾在东京大学做博士后,“最初的灵感,其实就是在对观测资料的反复审视和思考中发现的。”在对历年厄尔尼诺的资料进行审视时,他发现,在厄尔尼诺最强时,西北太平洋都有非常一致的反气旋环流异常。

“科学研究最难的是提出问题,”张人



禾说,“但是,如何解决问题同样也很难。”为了验证这一现象的普适性,张人禾回溯分析了历史上所有同类的厄尔尼诺事件,发现基本都出现了这一异常现象,这才初步确认了所发现的现象具有普适的规律性”。

随后,便是机理探寻过程。张人禾坦言,这个过程没有捷径。

九十年代初,“大量的数据分析工作依赖人工和性能低下的计算机,耗费着研究人员巨大的心血和时间。”从最初发现现象,到构建理论框架,再到应用领域,张人禾的这项研究持续长达近三十年,从热带太平洋拓展到热带印度洋和热带大西洋。在他看来,知识的确就像一个圈中的范围,“圈中的已知越多,其实圈外的未知也越多。”这句朴素的话语,道出了基础科学研究的永恒魅力与不懈挑战。解决一个核心问题的同时,往往会带出更多新的问题,推动着研究不断向更深处发展。目前,他的研究团队已形成包括多位独立PI在内的多个研究群体,围绕对我国天气气候有重要影响的东亚季风这一核心方向,在气候动力学的多个领域,从青藏高原、北极、陆气相互作用等更多的视角深入认识东亚气候的变异机理。

开掘万用之基

在计算机尚未普及、数据分析主要依靠人工的年代,张人禾敏锐捕捉到了那个看似偶然却反复出现的异常信号,发现了新的规律,这与他长年累月的刻苦研究和思考密不可分。即便已经成为院士,张人禾对科学问题的好奇心和深入探究的劲头也从未减弱。作为学生,周震强观察到:“张老师堪称‘劳模’,我们经常半夜还能看到他办公室的灯亮着,几乎在任何周末和节假日张老师都会在办公室。”

谈及数十年如一日投身科研的动力,他归因于兴趣与坚持。“如果对一件事缺乏兴趣,外力再怎么推动,很难做到持续专注和长久投入,因此很难取得重要成果。”

尽管基础研究不像技术发明和工程那般立竿见影,但对我国强国建设而言,其价值在张人禾看来无可替代。“独创性科学研究成果的不断产出是一个强国的重要体现,是精神文明的重要标志,基础研究也是今后我国实现‘领跑’的关键。基础研究不应该被看成是‘无用’之学,其价值的体现往往需要时间的沉淀,例如获得诺贝尔奖的温室气体影响气候以及DNA双螺旋结构等诸多重大科学发现,在产生之时并不明确知道其用途”。张人禾强调,在大气科学领域,深刻的基础科学认知,是应对气候变化、服务防灾减灾等国家长远发展的根本前提,“若能在自己深耕的领域留下一点有价值的探索,便已深感欣慰。”

本报记者 雷 蕾

从高校到企业,再到患者,复旦上医这支团队,如何促进基础研究、技术创新与临床应用的交叉融合,让创新成果真正惠及患者?

基础医学院抗体工程与新药研发课题组组长、上海合成免疫工程技术研究中心主任应天雷,正带领团队在合成免疫学这一充满无限可能的交叉学科道路上,为重大疾病治疗开辟“主动编程”的新赛道。近日,团队凭借《创新型合成免疫体系的建立与应用》项目斩获2025年教育部科学研究优秀成果奖(自然科学和工程技术)一等奖。

从“杀死细胞”到“调动免疫”的认知飞跃

“从中学开始,我就立志攻克癌症。”怀抱这份初心,应天雷从进入复旦化学系始,就专注研究细胞凋亡的相关机制与应用。深入研究后才发现,肿瘤细胞的“逃逸能力”远超想象,要实现真正的治愈,还需依靠人体自身的免疫系统。于是,他远赴美国国家癌症研究所深造,从化学分子到免疫机制重构知识,完成了从“杀死细胞”到“调动免疫”的认知蜕变。

医学朝着“用好人体潜能”的方向不断推进,但免疫药物研发困难重重:一方面,行业内扎堆仿制,大家挤在已知靶点上“内卷”,原始创新匮乏;另一方面,天然免疫分子如“双刃剑”——细胞因子虽能激活免疫系统杀伤肿瘤细胞,却可能引发高烧、严重炎症反应,甚至造成正常器官损伤;而抗体药物要么分子量太大,难以穿透微小病灶,要么在体内代谢太快,疗效大打折扣。

如何进一步改造天然免疫分子成为应天雷的课题,而合成生物学的“模块化”理念给了他灵感,能不能像搭积木一样,把免疫分子拆解开,再按需求重新拼接?

这个看似简单的想法,却需要打破化学、生物学、医学、工程等学科壁垒。2014年,应天雷回到复旦上医,组建抗体工程实验室,带领团队,将免疫分子改造技术、生物学进化理论与临床需求融为一体,提出“模块化功能化”应用观点,并于2021年,牵头成立上海合成免疫工程技术研究中心,率先建立起中国合成免疫研究平台。

“搭积木式”创新

“以前大家把抗体看成一个完整的大蛋白,我们则把它拆成一个个小模块,甚至小元件,像玩乐高一样。”应天雷用“拆积木、搭积木”形象地解释“模块化功能化”应用观点。

这一应用新观点破解了天然免疫分子的固有缺陷。“以抗体为例,天然抗体分子量较大,只能通过静脉注射给药,生产成本高昂,且难以穿透潜在靶点,而骆驼等动物的

小型抗体虽结构精简,却可能引发人体免疫排斥,存在免疫原性风险。”他说,团队通过模块拆分与重组,成功研发出“全人源单域抗体”,分子量仅为之前的十分之一,不仅保持了全人源序列的安全性,还可制成吸入剂型,大幅降低生产成本,更能精准结合潜在靶点,钻进传统抗体“够不着”的癌细胞。

“模块功能化的应用核心是‘对人体自身免疫分子进行优化’,而非创造全新分子。”应天雷强调。团队的分子构建全部基于人体自身的免疫分子序列,拆分重组后不会产生新的免疫原,从根源上规避了过敏、排斥等风险,保证安全。同时,团队建立了一套包含噬菌体展示、酵母表达、人工智能设计的体外进化体系,让模块在实验室中完成“一代又一代”的迭代优化,最终筛选出符合药物需求的最优组合。“我们不是盲目筛选,而是先设计功能,再通过模块组合实现,相当于‘定制化研发’。”团队成员介绍,这种精准设计的思路,让药物研发从“大海捞针”变成“按图索骥”。

十年间,团队打通了从模块拆分、体外进化到筛选验证的全链条技术平台,为创新生物药研发提供了新范式,让免疫药得以被“精准定制”。

让创新成果治病救人

在模块化功能化应用观点的指导下,团队研发的多款新型免疫药物已进入临床试验阶段,在肿瘤、乙肝等重大疾病治疗中展现出良好的效果。

“这是首个在二期临床就展现出有效性的IL-15类细胞因子类药物。”他介绍,细胞因子激动剂FL115是团队的“明星成果”之一,通过模块重组与进化,实现“精准激活”,既保留调动免疫细胞杀伤肿瘤的功能,又显著降低系统性毒性。

目前,FL115已进入二期临床。另一款全人源单域抗体也崭露头角,为呼吸道感染疾病治疗提供了新思路。

这些临床试验成果的背后,是产学研协同的强大力量。“我们专注于早期技术体系研发,企业负责工程优化、中试生产和临床试验组织,各司其职、高效配合。”这种默契让转化效率大幅提升。

让创新活力持续迸发

“我们是一支‘无标签’团队。”应天雷不刻意划分固定职责,而是以兴趣为导向,鼓励成员自由探索,在感兴趣的方向上深耕细作,遇到重大课题攻关时,则迅速组建“攻坚军团”,集中优势力量突破难点。“比如AI分子设计,我们就让计算机专业的成员牵头,生物学和医学背景的成员提出科学问题,大家分工协作、优势互补。”

跨学科合作,难免遭遇“语言不通”的时候。不同学科的术语体系,曾让沟通效率大打折扣。为解决这一问题,团队建立了常态化沟通机制,每周召开面对面会议,让不同背景的成员轮流分享专业知识,针对新兴领域,组织全员从基础学起,逐步打破学科壁垒。

“互不理解是常有的事,但也是创新的最好契机。”他笑着说,“关键是要容忍不同观点,在争论中找到共识。”

通讯员 边欣月

开创免疫「编程」新赛道