

从实验室到田间：

## 全球首创绿色农药的20年征程

■本报记者 李晨

从原创性成果在《自然》上发表，到签下第一笔5000万元的专利实施许可协议，只过去了两年。

“这个过程看上去很快，其实积淀了5年时间。这是我们团队做的一个比较顺利的研发成果。”中国农业科学院植物保护研究所(以下简称植保所)研究员杨青笑着告诉《中国科学报》。在杨青整洁、敞亮的办公室墙上，挂着她和一届毕业生的合影，他们的笑容非常灿烂。

2022年9月，《自然》在线发表了杨青团队首次解析几丁质合成酶的催化机制，并阐明尼克霉素抑制几丁质生物合成机制的相关研究成果。这是我国农药研究领域首篇发表在《自然》的论文。

一年后，杨青团队又发现脂质几丁质寡糖水解酶如何破坏植物与共生微生物的关系。又过了一年，基于这项论文成果而开发的靶向真菌几丁质修饰酶抑制剂，授权给河北中保绿农作物科技有限公司实施生产。如今，这一全球首创的新型绿色农药已经进入农药登记阶段，5年内有望走向市场。

## 始于“好奇”的科研马拉松

2003年，杨青在一本欧洲期刊《FEBS Journal》上发表了关于昆虫表皮几丁质合成的论文。这项看似基础的研究，却在20多年后催生出一款颠覆性绿色农药。

几丁质广泛存在于真菌、节肢动物、软体动物、环节动物、腔肠动物和原生动物中，却不会在植物和哺乳动物体内合成。科学家一直试图解开几丁质生物合成的奥秘。

“当时纯粹是为了探索生物学的奥秘，没想到几丁质会成为贯穿我科研生涯的关键词。”杨青回忆道。她最初的研究对象是昆虫表皮结构，但随着团队发现几丁质合成机制在真菌、线虫等病原体中高度保守，研究视野逐渐拓宽。

“当我们开始理解不同生物之间相似的东西，就发现很多机制是相通的，越做越好玩！”杨青说，年轻的科研工作者总想快速创新，但真正的突破往往源于长期积累。只有在十几年的科研积累之后，才能了解哪些问题很重要、哪些问题需要突破、哪些问题很难解决，从而找到真正的创新点。“基础理论的创新需要沉淀。”

就这样，她把大部分精力投入几丁质的研究。几丁质是由N-乙酰氨基葡萄糖构成的天然生物高分子，其生物合成对大量生物的生存和繁殖至关重要，这些生物也包括许多严重危害农业生产的害虫、病原真菌和卵菌等。

施用农药每年可为我国减少约1000亿元



杨青团队成员在田间作业。

受访者供图

直接经济损失，但农药毒性和病虫害产生的抗性也带来了严峻挑战。杨青告诉《中国科学报》，加速研发安全、具有新作用机制的农药是有效解决途径，其科学问题的核心在于农药分子靶标。而几丁质合成酶是创制高效、安全、生态友好农药的重要靶标之一。

然而，过去50年，全球各国投入大量人力、物力，却始终没有研发出靶向几丁质合成酶的绿色农药。其中一个重要原因就是缺乏准确的几丁质合成酶的三维结构信息。

## 从理论到应用：“广谱性”的豪赌

“我们对没有解决的几丁质合成酶的科学问题一直很清楚，所以能在技术成熟的时候，直奔这个问题去找答案。”杨青说。2020年，他们成功解析了几丁质合成酶的三维结构。

通常情况下，拿到这样的结果往往会优先考虑发论文。然而，杨青觉得这个成果有应用前景，并不着急发表论文。杨青说，很多科研人员没有意识到，在没有专利保护的前提下发论文，有可能被别人捷足先登申请专利，以致丧失成果转化的主动权。

很快，杨青团队在实验中发现，一种小分子化合物能精准抑制病原真菌的几丁质酶活性，同时激活植物免疫系统。

更令人振奋的是，田间试验表明，该化合物对小麦、水稻、玉米等主粮作物的真菌病害均表现出广谱抗性，特别是对锈病和白粉病表现更为优异。“农药的黄金标准就是广谱且低毒，我们预感这次抓到了‘王牌’。”杨青说。

安全性是另一张王牌。杨青团队对该化合物进行了哺乳动物、鸟类及水生生物毒性测试，结果显示其安全性远超过传统化学农药。“农药残留一直是消费者的心结，我们想

‘零残留’变成常态。”杨青说。

农药研发不仅需要实验室数据，更依赖田间实战智慧。杨青团队发现，药剂必须在病害发生前施用才能发挥最佳效果。“农民习惯见病才打药，而我们的药得在病侵之前施用，才能激发植物自身的免疫反应。所以我们必须摸透病害发生规律，还得反复培训农户。”杨青说。

一位新疆农户反馈：“往年葡萄霜霉病要打五六次药，用了杨老师的药后，病害明显少了，果子也更水灵。”类似的事例积累让团队信心倍增。

2022年，杨青团队以“抗真菌小分子化合物及其应用”为核心技术申请国内发明专利，仅用不到一年时间便获批准。“专利审查员认为这项技术应用潜力巨大。”杨青坦言。

同时，他们迅速进行分子结构改良，力图通过新专利构建起“防护网”。

2023年，一项关键突破发表在《自然-通讯》——杨青团队揭示了真菌分泌的脂质几丁质寡糖水解酶如何破坏植物与共生微生物的关系，从而加剧病害。“这就像病原体自带的‘生物武器’。”杨青比喻道。

通过10多年的持续攻关，杨青团队先后在《自然》《自然-通讯》《自然-微生物》等国际期刊上发表多篇研究论文，揭示植物病原菌的几丁质代谢过程和靶向抑制机理。这些重大理论的突破为靶向病虫害几丁质相关的生物学过程、开发人畜安全的绿色农药奠定了核心基础。

## 站在“原创”的肩膀上

2023年，杨青团队和植保所所办企业——河北中保绿农作物科技有限公司开

始了密切接触，合力推动靶向几丁质合成酶的绿色农药的成果转化。杨青说：“所办企业沟通效率高，且有政策支持。他们承担了很多推广工作，能让我们更加专注于基础研究。”

2024年9月，双方签订了5000万元的专利实施许可协议。协议签订后，该公司将采用“分期支付+销售分成”模式分期履行合同，预计5年内可取得农药登记证。

植保所所长陆奕辉介绍，该公司是植保所的全资公司，也是研究所科研创新的重要组成部分。该公司第一时间组织开展了真菌几丁质脱乙酰基酶抑制剂的成果转化工作。目前，他们的绿色农药被全国农药标准化技术委员会命名为“抗菌脲”，并完成了原药、制剂样品封样及企业标准工作制定。

当前，该公司正在开展原药和制剂的产品化学、毒理、环境、药效和残留试验。田间表现出优异的防治效果，可有效防治多种主粮作物及经济作物的真菌病害。

“这是全球首例针对几丁质生物学过程的原生性生物农药分子，是基础理论研究到成果转移转化的范例。”陆奕辉说。

中国工程院院士、华东师范大学校长钱旭红指出，当前我国农业技术发展以改进型为主，亟须具备顶层设计思维的颠覆性技术体系。这类技术应能解决单一核心问题并带动产业链整体升级，从而真正实现绿色发展目标。

杨青团队的重大成果，从原始理论创新到农药产业化迈出了关键一步。该成果为农药创制提供了重要的颠覆性新靶标，靶向筛选发现了新农药分子，是生物化学农药、植保学科、绿色产业发展的重要里程碑。

钱旭红认为，这一成果跳出了传统农药依赖神经毒性或能量代谢抑制的路径，从底层逻辑上重构了绿色农药研发范式，实现了靶标发现向农药分子创制的闭环，为新农药研究提供了重要范例。

统计数据显示，当前，我国农作物病虫害年均发生面积达60亿亩次，传统防治手段面临抗药性加剧、药效衰减等挑战。全国农业技术推广服务中心首席专家刘万才指出，杨青团队研发的新型农药在小麦条锈病、白粉病等重大病害防治中展现了显著优势，其作用机理突破现有杀菌剂框架，对稻瘟病等疑难病害同样具有防控潜力。

中国农业科学院副院长孙坦表示，颠覆性成果源自强大的长期基础研究。此次成果转化展示了从基础理论突破到成果转化的完整路径，探索出一条“科研院所主导、企业深度参与”的高效转化路径。

几丁质的故事远未结束。杨青期待着农药登记证加速落地，届时，年产百吨级的生产线将正式启动。

## ■资讯

## 百千瓦级高效海水电解制氢系统示范运行

本报讯(记者孙丹宁)近日,由中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)研究员王二东团队自主研发的百千瓦级20标方/小时高效海水电解制氢系统在位于大连的华能庄河海上风电场示范运行。目前系统工作稳定,各项指标均达到设计要求。

据了解,该系统自2024年9月完成制造与调试后,持续开展了性能评价工作,系统运行稳定可靠,电解槽小室电压低至1.59伏(3000安培/平方米),直流电耗为3.80千瓦时/标方氢气,氢气纯度高于99.999%。为进一步验证高效海水电解制氢系统对于可再生能源电力输出波动性的适配与响应能力,大连化物所与华能辽宁清洁能源公司在华能庄河海上风电场开展联合示范工作,制氢系统可良好适应华能庄河海上风电的输出特性,展示了海水电解制氢技术的可靠性与先进性,为该技术的规模化应用奠定了良好基础。

这套20标方/小时高效海水电解制氢系统应用了王二东团队在海水制氢领域的多项核心技术,包括高性能制氢电极、新型低成本电解槽、宽功率适应海水电解制氢工艺、高可靠性系统架构等,保障了海水电解制氢系统在复杂工况下的稳定、可靠、高效运行。



百千瓦级高效海水电解制氢系统。大连化物所供图

## 琶洲实验室脑机智能成果转化基地揭牌

本报讯(记者朱汉斌)2月10日,人工智能与数字经济广东省实验室(广州)(以下简称琶洲实验室)脑机智能成果转化基地(江西)战略合作签约仪式在江西赣州举行,标志着琶洲实验室、江西理工大学和南方医院赣州医院(赣州市人民医院)三方在脑机智能领域迈出了实质性步伐,共同推动脑机智能技术在医疗领域的应用与发展。

会上,琶洲实验室常务副主任李远清介绍,脑机接口分为侵入式和非侵入式两大类,琶洲实验室研究的是非侵入式脑机接口,应用前景无限,打通了从源头技术研发到基础理论框架,再到科研成果转化的全链条。他希望基地能够建设成为样板,立足赣州,辐射江西,真正造福一方百姓。

赣州市人大常委会副主任姚勇表示,此次三方合作将形成“铁三角”模式,顺利推动康复医学从传统模式向智能化、精准化转型,打造医疗科技协同创新的标杆事例。他希望琶洲实验室把赣州作为成果转化基地的优先点,让基地在赣州不仅顺利落地,还能开花结果,长成参天大树。

江西理工大学副校长龚姚腾表示,江西理工大学将充分发挥优势,重点围绕共建高水平科研平台、供应高素质创新人才、共促科技成果转化三个方面开展合作,为服务国家战略需求和区域经济社会发展作出新的更大贡献。

南方医院赣州医院院长戴辉介绍,此次合作是琶洲实验室、江西理工大学和南方医院赣州医院三方的合作,依托南方医院赣州医院康复医学的强大实力和临床资源,一定会取得丰硕成果,惠及赣南人民群众。

## 校地共建蔬菜产业“研产销”联合体

本报讯(记者李晨)近日,南京农业大学与南京市高淳区合作共建的蔬菜产业“研产销”联合体在江苏省南京市高淳区双游村签约揭牌。该联合体作为产学研创新的重要平台,将依托南京农业大学的科教优势,引入前道成果,破解生产难题,提产提质提效,打造研、产、销一体化农服模式,助力蔬菜产业迈向高质量发展新阶段。

近年来,高淳区加快构建现代农业发展新格局,推动现代蔬菜园艺产业高质量发展。此次高淳区与南京农业大学再度深度合作,将构建高效、协同的产业链体系,整合多方资源,实现从田间地头到消费者餐桌的无缝对接,在确保蔬菜的品质和安全的同时促进农民增收。

据悉,南京农业大学与高淳区长期保持密切合作,此次建立蔬菜产业“研产销”联合体,将作为双方深度合作、共谋发展的新起点。南京农业大学副校长丁艳锋对联合体的建设和发展提出三点期望:一是要充分发挥科研优势,打造具有核心竞争力的蔬菜产业科技研发新高地;二是要以市场需求为导向,为推动地方经济社会发展提供强大助力;三是要加强双向互动,为蔬菜产业的发展提供源源不断的智力支持。

在揭牌仪式现场,南京农业大学植保学院、园艺学院与双游村签订了产学研合作协议;云南维康集团、江苏恒业集团分别与双游村签订了出口型蔬菜订单协议、种植基地及年度产销协议。

## 73岁教授退休后打了一场“持久战”

■本报记者 沈春蕾

不起静电、不起球,很轻薄,比普通秋衣增温3.1°C……近日,浙江理工大学73岁退休教授凌荣根研发的一款秋衣在纺织圈“火”了。

“这款秋衣面料看起来跟普通秋衣差别不大,穿着又轻又软,不亚于纯棉质感。”凌荣根告诉《中国科学报》,“与普通面料不同的是,我们研发的这款面料不仅具有良好的抗静电性能,而且吸湿排汗,可以促进人体微循环。”

30多年前,凌荣根开始研究纺织材料,先后经历了蚕丝、聚酯纤维、功能材料等攻关。从前期的教学到退休后全身心投入成果转化,他在一次又一次失败中,最终找到了通往成功的路。

## 从丝绸研究半路转行

据了解,浙江理工大学前身是1897年由杭州知府林启创办的蚕学馆,1964年由国务院定名为浙江丝绸工学院,1999年更名为浙江工程学院,2004年更名为浙江理工大学,20世纪90年代,凌荣根在浙江理工大学承担丝绸工程的教学和国家攻关项目研究,并取得了一系列的成果。

“当时,丝绸在我国正步入发展的黄金时代,相关的研究也很热。”凌荣根介绍,由于丝绸是天然材料,前人已经做了很多研究。而自己则对一种来自国外的新型人工合成纺织材料更感兴趣,该材料就是聚酯纤维,又叫涤纶。

说到涤纶,就不得不说起20世纪七八十年代在我国最时髦的衣服面料——“的确良”,其主要成分正是涤纶。据悉,“的确良”的命名来自美国杜邦公司研发的一款涤纶纤维——达克伦(Dacron)的中文音译。

凌荣根关注涤纶的原因是他发现这种纺织面料具有强度高、不易变形、易洗易干、耐穿等优点,非常有发展前景。但该面料也存在舒适性差等缺点,如不透气、不吸汗,夏天穿着比较闷热,干燥的冬天穿着又容易产生静电,保暖性能也不太好。

为此,凌荣根不拘泥于丝绸研究的现状,

决定带着团队转换赛道,转行从事与聚酯纤维材料相关的研究。

2012年,凌荣根即将迎来退休,按照惯例他应该接受返聘继续留校工作几年。这时候,浙江省桐乡市一位做沙发布的老板经过多方打听找上门,请他帮忙研发一种不起球的聚酯短纤维面料。

在凌荣根心里,也一直苦恼于此,前没时间从事成果转化。于是,他婉拒了学校的返聘要求,回到家乡桐乡,投身扛起球聚酯短纤维的研究。

## 历时10多年的攻关

凌荣根回忆说,当年,为了破解聚酯短纤维面料起球的难题,国内外许多研究团队都投入了大量研究,他在退休前也参与了相关研究,但进展都不是很好。

他很清楚,聚酯短纤维面料由于吸湿性差,在干燥及持续摩擦的过程中易产生静电,静电使其短纤维表面羽毛羽直,从而为起毛起球创造了条件。要彻底攻克该难题需要投入大量时间和精力,是一场“持久战”。

恰好,浙江理工大学与桐乡市政府联合成立了校地合作产学研创新平台——浙江理工大学桐乡研究院(以下简称桐研院),为凌荣根开展聚酯短纤维面料的研究提供了实验平台。他感叹道:“退休后,我终于可以用积累的技术经验为家乡做点事了。”

在凌荣根牵头下,桐研院组建了一个由材料科学家、纺织工程师和工艺专家组成的跨学科研发团队,对聚酯短纤维抗起球难题开展攻关,包括改进纤维的分子结构、优化纺丝工艺等。

然而,攻关试验并非一帆风顺,他们遇到了很多困难。

针对纤维的分子结构之间不能合成链节、能否尽可能减小滑移等难点问题,在没有现成经验可以借鉴的情况下,凌荣根带领团队一步步摸索,反复尝试各种单体的组合、配比及工艺,其间经历的失败不计其数,终于找

到了解决方案。

凌荣根介绍,纤维通过在分子链中引入多种复合单体嵌段共聚,可以阻止纤维分子链间的相对滑移,降低纤维的断裂伸长率,从而有效解决传统聚酯纤维易起毛起球的问题,提升了产品的耐用性和美观度。

虽然分子结构问题解决了,但新的难题随之出现——现有的纺丝工艺有待优化。为此,团队通过多次试验,在纺丝过程中精细控制纺丝温度、速度和拉伸比等关键参数,从而实现了纤维性能的优化。

历经10多年攻关、数千次试验失败和改进,凌荣根带领团队终于破解了短纤维面料起球的难题,成功研制出抗起毛起球的聚酯纤维材料。

## 比在学校的时候更忙

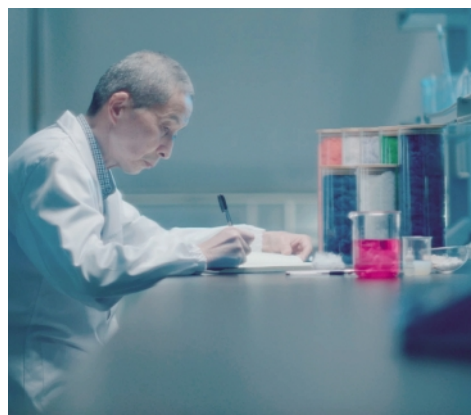
“我今天和明天的日程都满了。”记者在跟凌荣根预约采访时间时发现,这位73岁的老人非常忙碌。

“年前,我们少量生产的秋衣非常受欢迎,不少客户都是慕名前来订购的。”凌荣根告诉《中国科学报》,这款秋衣面料采用的是功能性改性聚酯短纤维,是其科研团队历经10多年研发成功的。

“穿上这款秋衣后,体感温度可以提升约3.1°C,不仅舒适还可防寒。”凌荣根介绍,保暖性能源自面料拥有吸收和发射远红外线的功能。来自第三方检测机构的报告显示,在常温状态下,这款秋衣面料的远红外线发射率达到了0.91,远超传统羊毛面料的0.72。

过去,衣服的保暖性往往跟厚度挂钩,凌荣根等人研发的秋衣为什么可以既轻薄又保暖?他告诉记者,这款秋衣面料采用的改性聚酯短纤维的密度仅为普通聚酯纤维材料的80%,穿着后非常轻盈。

在干燥的冬季,普通聚酯纤维面料在摩擦过程中通常会产生静电,让人感到不适。“市场上,一些抗静电的面料通常采用涂覆抗静电剂,



凌荣根在实验室里工作。

受访者供图

会影响面料的蓬松度和舒适性,经过多次穿着和洗涤后,抗静电效果会降低。”凌荣根说,“我们研发的新型聚酯短纤维通过在原位聚合过程中添加功能性材料减少电荷积累,防止静电产生,可以具备持久的抗静电效果。”

另据了解,不同于传统的聚酯纤维材料,凌荣根团队研发的秋衣面料吸湿能力显著提高,有利于身体排汗。此外,该面料对于大肠杆菌和白色念珠菌的抑制率均超过90%,穿着舒适、健康。

搞了几十年纺织材料研究的凌荣根终于实现了将技术成果落地转化的心愿,而且他比在学校的时候更忙了。如今,在桐研院,来自浙江、江苏、北京、山东、广东、香港等地的客户慕名而来寻求合作。其中,一位来自山东的客户连续驻点3天后,提出先把样品拉走,以在第一时间完成交货验货。

近年来,凌荣根团队已先后研发出浅白色石墨烯锦/涤纶纤维、轻量高弹保暖聚酯纤维、抗起球聚酯纤维、超细旦聚乳酸等多款聚酯纤维面料,正在寻求更多生产合作,以满足市场需求。他透露,相关产品预计在5年内实现千亿元的产值,将带动聚酯纤维行业产生百亿元的经济效益。