

30年，PHA走向产业化

——我国首创“下一代工业生物技术(生物制造2.0)”研发应用始末

创新故事

◎本报记者 张盖伦

提起PHA，你也许会觉得陌生。但如果告诉你，PHA已经开始在餐具、食品包装、3D打印、纺织纤维、医疗器械等诸多领域应用，你就会觉得它离我们的生活并不遥远。

“PHA即聚羟基脂肪酸酯材料家族，是从细胞里长出的新材料。它在自然界可完全降解，无毒无害。”日前接受科技日报记者采访时，清华大学生命科学学院教授、合成与系统生物学中心主任陈国强这样介绍。

早在30年前，陈国强就认定PHA是未来绿色材料的方向，并义无反顾地走上生物制造PHA的研发之路。“这是一个不断试错的过程，我们一次又一次碰壁，再一次次闯过去。”他说。

解决“染菌”之痛

为了减少石油基塑料使用，避免造成更多的白色污染，科研人员一直在寻找可降解的替代材料。生物制造，就是公认的替代材料生产路径之一。

“生物制造，顾名思义，是通过生物体进行重新设计和改造，获得性能优良的底盘细胞，再以这些细胞为工厂，制造出人类需要的各类材料。”陈国强告诉记者。

在诸多的生物材料中，PHA具有生物相容性、热塑性、可降解等优势。基于此前数年的探索与实践，1994年，在国外做完博士后研究的陈国强来到清华大学，组建团队，潜心研究如何实现PHA量产。

“在实验室，很多问题不容易暴露。而在工厂，规模一放大，问题就都来了。”陈国强发现，首当其冲的难题是“染菌”——在培养微生物过程中，其他菌类微生物会伴随其一起生长。

一旦微生物细胞“染菌”，整个发酵过程就得从头再来，损失巨大。而要想防止细胞被感染，就必须进行严格的无菌操作，对设备、人员要求苛刻，能耗也高。

“我们尝试了很多种微生物，都无法解决这个问题。”陈国强回忆说，直到一次偶然的机会，他想到了极端微生物。

极端微生物一般生长在普通微生物很难存活的极端环境中，不会轻易被其他微生物感染。有了它，PHA生产过程可以相对开放，无需采取复杂繁琐的

灭菌操作。

于是，陈国强将目光投向了难以“染菌”的嗜盐微生物。

很遗憾，团队成员跑遍多地寻找，均无功而返。直到2006年，在一个纬度低、昼夜温差大、盐度比海水还高的盐湖中取回的土样中，他们终于分离出了兼具耐盐和快速生长特性的菌株，这便是嗜盐菌。

构造“底盘”之基

合适的菌株有了，构造出底盘细胞成为实现生物制造的关键。

“底盘细胞在发酵过程中，能够将葡萄糖、淀粉、植物油等可再生生物质，转化为PHA。”陈国强打比方说，“它们好比工厂里的机器，可以源源不断地生产出我们需要的高分子材料。”

要想获得底盘细胞，就必须对嗜盐菌基因进行拆卸、组装。新的问题随之而来——嗜盐菌太特殊了，缺乏现成的分子操作工具。

“‘分子手术刀’‘分子缝合针’‘分子运输车’都是必备工具。”陈国强解释道，“它们分别负责对微生物基因实施切割、重组、运输。”

没有工具，嗜盐菌犹如一个“黑匣子”，能看，不能用。

质粒载体是常用的“分子运输车”，负责将重组后的基因导入受体细胞。“仅这一种工具，就耗费了我们大量精力。”陈国强告诉记者，团队先后尝试了数百种现有的质粒，都不成功。

怎么办？只有扩大范围，寻找新的质粒。经过不懈努力，大家又筛选出具有潜力的两百多个质粒，一一试验，终于迎来转折——有3个能用！

质粒有了，微生物基因改造的“黑匣子”打开了。

在此基础上，团队又开发出一系列基因编辑、代谢调控、网络优化的工具，可以从不同层面来修饰、调控底盘细胞的性能。

开发分子操作工具，研发团队用了整整十年。“这个过程很痛苦。”陈国强坦言，成功的秘诀是信念与坚持。

终于，底盘细胞被团队构造了出来。

“接下来是生产验证，我们又用了七八年时间，先后闯过了发酵工艺提升、细菌形态改造、材料分离提取等难关，跨越了工业放大‘死亡谷’。”团队成员、清华大学生命科学学院副研究员吴赴清介绍。

踩实“转化”之路

工业放大攻坚期间，2018年，陈国

强在国际上首次提出“下一代工业生物技术”，并在“小试”“中试”与规模化生产中得到验证。

但这并不代表此项技术就能获得企业的认可。团队面临着新的关卡——成果转化。

“‘下一代工业生物技术’利用无需灭菌的连续发酵体系进行生产，具有开放式、高效率、低能耗和节约水资源等优点，是传统生物制造技术的2.0升级版。”吴赴清说，这些颠覆性特点，反而让传统发酵企业顾虑重重。

“一直以来，都要严格密封、高温灭菌，你说不用就不用了？”有的企业甚至觉得研发团队是在“忽悠”。

几经辗转，团队终于找到一家愿意尝试的大型发酵企业。为了打消对方顾虑，发酵测试就在企业现场进行。

200立方发酵罐，第一次测试，成功！

对方工程师怀疑：是不是有“运气”因素？那就再来一次，还是成功！合作随之顺利达成。

2021年，成果转化企业——北京微构工场生物技术有限公司（以下简称“微构工场”）成立，产业化步入快车道。

“公司成立后，在市场的牵引下，实验室科研进展全面提速。”微构工场副总裁欧阳鹏飞说，“以前，菌种9年迭代3代；最近几年，1年就迭代3代；今年，有望迭代4到5代。”

迭代让菌株有了更好性能，让产业化落地有了更坚实的基础。

年产千吨的智能生产示范线在北京顺义建成，年产3万吨的生产基地在湖北宜昌设立……“我们还联合川宁生物推进医疗级PHA产业化应用，在安徽合肥建设‘灯塔工厂’探索各类应用场景。”欧阳鹏飞介绍。

2023年，基于嗜盐菌的开发利用和“下一代工业生物技术”对世界的贡献，国际代工业工程学会授予陈国强“国际代谢工程奖”。如今，相关技术已被广泛应用于生物制造的开放式生产中。

在最近召开的全国科技大会、国家科学技术奖励大会、两院院士大会上，习近平总书记强调，要瞄准未来科技和产业制高点，加快新一代信息技术、人工智能、量子科技、生物科技、新能源、新材料等领域科技创新，培育发展新兴产业和未来产业。

面向未来，陈国强信心满怀：“我们将扎实推进科技创新和产业创新深度融合，持续提高PHA产业化水平，为我国实现‘双碳’目标和绿色发展贡献力量！”

《习近平著作选读》第一卷、第二卷和《习近平关于中国式现代化论述摘编》繁体版在2024年香港书展首发

新华社香港7月17日电 《习近平著作选读》第一卷、第二卷繁体版和《习近平关于中国式现代化论述摘编》繁体版，近日由联合出版集团出版发行。7月17日，香港书展开展首日举办了新书发布会暨出版座谈会。

《习近平著作选读》生动记录了以习近平同志为核心的党中央领导人民开创中国特色社会主义新时代并不断夺取新胜利的伟大历史进程，集中反映了新时代中国共产党人推进马克思主义中国化时代化取得的重大理论创新成果，充分彰显了习近平新时代中国特色社会主义思想引领强国建设、民族复兴的真理

力量和实践伟力，展现了中国共产党对国家民族发展、对人类前途命运的使命担当，是全面系统反映习近平新时代中国特色社会主义思想的权威著作。《习近平关于中国式现代化论述摘编》系统反映了习近平同志对中国式现代化中国特色、本质要求和重大原则等丰富内涵的深刻阐释，集中体现了党的十八大以来中国现代化在理论和实践上的创新突破，展现了党领导人民成功走出的中国现代化新道路、创造的人类文明新形态、绘就的现代化新图景。

三部图书繁体版的出版发行，有助于港澳读者系统了解习近平新时代中

国特色社会主义思想，深刻理解中国式现代化的理论体系和实践要求，对于引导港澳同胞增进国家、民族和文化认同，与全国各族人民一道勠力同心，为实现中华民族伟大复兴而团结奋斗，具有十分重要的意义。

香港特别行政区行政长官李家超，中央政府驻港联络办负责同志，香港爱国爱港机构、政团社团代表和出版界代表出席新书发布会暨出版座谈会。香港友好协进会、香港中国企业协会、香港教育工作者联合会等有关负责人在新书发布会上接受赠书。三部图书繁体版即日起在港澳各大书店上架并重点推介。



眼下，由中铁广州局承建的贵州安(安顺)盘(盘州)高速天门特大桥有序推进。天门特大桥是安顺至盘州高速公路的重要控制性工程，大桥全长1553米。图为7月17日拍摄的建设中的安盘高速天门特大桥(无人机照片)。新华社记者 陶亮摄

我国科学家揭开天体高能电子产生之谜

科技日报北京7月17日电 (记者陆成宽)天体高能电子是如何产生的？这个问题一直困扰着天体物理学家。记者17日从中国科学院国家天文台获悉，依托国家重大科技基础设施“神光二号”大型激光装置，来自该台等单位的科研人员首次实现大尺度动理学湍流等离子体中的电子随机加速，揭开了复杂天体环境中高能电子的产生之谜。相关研究成果在线发表于《自然·通讯》杂志。

作为《科学》杂志发布的125个科学问题之一，天体中高能粒子的起源问题一直是未解之谜。天体物理学家提出

了磁重联加速、冲击波加速和随机加速等多种机制，以解释不同天体环境中高能粒子的产生机制。

近期，实验室天体物理研究在粒子加速方面取得了一系列重要进展，在实验室实现了湍流磁重联加速和冲击波加速。“然而，截至目前，随机加速机制仍然没有被证实，其主要难点在于如何在实验室产生和天体类似的大尺度动理学湍流等离子体。”论文第一作者、中国科学院国家天文台袁大伟博士介绍。

此次，科研人员利用“神光二号”大型激光装置，在实验室产生超光速对撞等离

子体，利用束流速度异性诱导电磁磁伯不稳定性的产生和发展，进而诱发形成大尺度的等离体湍流结构。他们进一步分析发现，该湍流结构的功率谱与动理学湍流谱高度一致，实验还同时测量来自于不同角度的高能电子幂律谱。

论文共同通讯作者、中国科学院国家天文台赵刚院士表示，理论模拟发现，这些高能电子主要来自于湍流等离体中的热电子与磁岛发生多次“碰撞”，即湍流随机加速。这对理解天体复杂环境中的粒子加速和高能辐射具有重要意义。

宁夏彭阳：走出一条“杏”福路

加速科技成果转化

◎本报记者 王迎霞

通讯员 陈海洋 李思颖

在宁夏，如果说一个地方“家家有杏树，村村有杏林”，那无疑是盛产红杏的固原市彭阳县。

盛夏时节，刚刚成熟的红杏黄里透红，果形饱满，繁茂地挂在枝头，让人口水生津。很多人想不到，彭阳人不但把红杏制成果脯、果干、酸梅汤、杏汁等食物，还把它变成了中草药材、饲料乃至生物物质燃料。

小小杏子摇身变出一条产业，这要归功于彭阳县产业链与创新链深度融合，让科技成果加速向现实生产力转化。

科学种，一亩能卖两万元

彭阳人有句口头禅：“不是所有杏子都叫红杏杏子。”

这个地处黄土高原中部丘陵沟壑区的小县城，日照时间长，昼夜温差大，土壤富含钾、钙、硒、锌等微量元素及维生素C。这也造就了当地红杏杏纤维少、汁液多、味酸甜的特点。

今年，彭阳县继续把红杏产业作为群众致富的重点产业，精心培育了26个庭院经济示范村。全县红杏杏种植面积8万亩，其中挂果面积2.2万亩，产量预计达8000吨。

7月12日，记者来到彭阳县孟塬乡草滩村虎俊龙家的杏林。虎俊龙是当地有名的致富带头人，也是一名科技特

派员。2023年，在他的指导下，当地的一亩红杏杏最高能卖两万元。

杏林里，一些用废弃汽油桶制成的装置引人注目，上面布满小孔。看到大家疑惑，虎俊龙解释道：“这是防霜冻的。我们把柴火等燃料放进去，在不充分燃烧的情况下只出烟，这样霜就落不下来。”他特别强调，在临界温度方面，这个烟桶效果尤其好。

原来，霜冻是红杏杏丰收路上的一个“拦路虎”。今年彭阳县专门给予科技项目支持，着力解决这一难题。“我们还发动企事业单位带动种植大户，共同进行防霜冻措施综合运用。”彭阳县科技局局长刘惠告诉记者。

深加工，实现价值最大化

为了让农民走出一条“杏”福路，彭阳县积极探索红杏杏的深加工之路，将传统种植与现代科技相融合，不断延伸其产业链，实现价值最大化。

清洗、去核、切片、烘干……在位于王洼产业园区的宁夏微元素食品开发有限公司的生产车间内，24条烘干生产线正马力全开。在公司负责人、科技特派员董升元的带领下，记者参观了前处理车间、烘焙区域、包装车间、化验室、冷藏库等，见证了一颗杏子的华丽蜕变。

2023年9月，该公司开始研发生产富钾富钙饮品、食品、营养保健品、生物萃取等产品，投产了年产5万吨富钾富钙复合干果饮品及2000吨红杏杏条的项目。

“我们的饮料与众不同，它需要经过熬制，随后还得经过滤、杀菌、调配等多道工序。”董升元说，如今他们生产

的甘草杏汁、酸梅汤等系列产品销售宁夏周边和广东、福建等地。项目全部投产后，预计可实现年销售额5亿元，带动当地600余人就业。

在彭阳县，像这样的加工企业已经引进并培育5家。红杏杏除了作为鲜果热销外，还被加工成杏脯、杏仁、杏汁等产品销往大江南北，实现年销售收入2.3亿元，“小杏子”蜕变成“大产业”。

延链条，产业发展再升级

为了延长产业发展链条，董升元又流转林地1万亩实施红杏杏高接换头技术。目前，已完成4.5万棵杏树的嫁接工作，预计2025年将实现产值3375万元，至少带动300余农民实现就业。

他还计划在林下养殖10万只当地特产朝那鸡，而鸡饲料的主要原料是熬制酸梅汤和甘草杏汁的剩余果渣。

近年来，该县围绕做强红杏杏产业链，加强与西北农林科技大学、宁夏农林科学院、宁夏林业和草原局等院校及单位合作交流，建立试验科研基地。从良种选育、标准化栽培、防霜避害、高接换头、节水抗旱、病虫害防治、贮藏营销等各环节，该县积极引进推广先进适用科技成果，并制定出台地方标准。

彭阳县科技局还组织开展多层次、多形式的经济林栽培技术指导和培训，帮助农户熟练掌握红杏杏栽培管理技术，为产业发展提供了有力的科技支撑。董升元就是彭阳县坚持走“科技兴杏”路子的缩影。

“我们将以示范园建设为抓手，以点带面，提升层次，不断推进红杏杏产业优化升级。”刘惠说。

“实起来、细起来、紧起来、严起来”确保党纪学习教育落实落地

党纪学习教育

◎唐清利

党纪学习教育是深入学习贯彻习近平总书记关于党的自我革命的重要思想的战略部署，是党中央加强党的纪律建设、推进全面从严治党的重要举措。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央坚持把落实管党治党政治责任作为最根本的政治担当，紧紧抓住责任制这个“牛鼻子”，引领全党持续增强管党治党意识、完善管党治党责任体系，确保管党治党真正实起来、细起来、紧起来、严起来，为党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革提供了坚强纪律保证。

“实起来”，深刻认识党纪学习教育的重大意义

学纪是党员了解、掌握党的纪律，提升党性修养的基础环节。

从党的发展历程来看，纪律严明是

党的光荣传统和独特优势。中国共产党自诞生起，就奠定了纪律立党的基石。新中国成立后，中国共产党随即成立纪律检查委员会以强化党的组织性与纪律性。改革开放后，党的纪律建设不断深化，有力推动了社会主义现代化建设。进入新时代，党的纪律建设全面加强，为创造新时代中国特色社会主义的伟大成就提供了坚强保障。

从党面临的新形势来看，纪律严明是全面从严治党的现实需要。复杂多变的国际环境和艰巨繁重的国内改革发展稳定任务，对党员干部提出了更高要求。新修订的《中国共产党纪律处分条例》中，将搞劳民伤财的“形象工程”“政绩工程”行为从违反群众纪律调整为违反政治纪律，并作为从重或加重处分情形，释放出全面从严、一严到底惩治不正之风的强烈信号。

从党在新征程的中心任务来看，必须严明党纪党规。只有依靠严明的纪律和规矩，才能把党的领导落实到党和国家事业各领域，才能以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业。

“细起来”，深刻认识党纪学习教育的内容要求

知纪是党员行为的导航灯，是避免违规违纪的第一道防线。

学深悟透党的创新理论，坚定理想信念。党纪学习教育要锚定目标，推动全党特别是领导干部把学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想进一步引向深入，始终做习近平新时代中国特色社会主义思想的坚定信仰者和忠实实践者。

学思践悟党规党纪，筑牢认知根基。党纪学习教育应当以《中国共产党纪律处分条例》为基础，在学习过程中既要逐章逐条学好各项规定，也要抓住政治纪律这个“总开关”，进而深入领悟“六大纪律”的主旨要义，做到融会贯通。

反思总结典型案例，对照自警自省。党风廉政建设和反腐败斗争是党纪学习教育的重要组成部分，其中不乏违纪违法典型案例。典型案例可以向广大党员干部直观展示党纪的重要性和违纪的后果，增强党纪学习教育的针对性和实效性。(下转第三版)