他深耕 30 多年，建立我国自己的万吨级 PHA 产线

■本报记者 王一鸣

“一期年产聚羟基脂肪酸酯（PHA）1 万吨，二期年产量将达到 3 万吨，届时这里将成为世界上最大的 PHA 生产基地。”清华大学合成与系统生物学中心主任陈国强向《中国科学报》介绍了由清华大学合成与系统生物学中心孵化的 PHA 产线项目。近日，该项目已在湖北宜昌正式落地，我国也有了自己的万吨级 PHA 产线。

谈及落地宜昌的 3 万吨级 PHA 产线项目意味着什么，陈国强介绍，目前每年全球 PHA 产量约为 5 万吨，该项目全面投产后，产能将占全球产量的一半，成为世界上最大的 PHA 生产基地。而 PHA 的生产成本也将由每吨 5 万元降到 3 万元，更具市场竞争力。

“在许多生物基材料中，PHA 是唯一能完全生物合成、可热塑加工，并在陆地、海洋和家庭堆肥多场景环境可降解的材料。”陈国强深耕生物合成领域 30 多年，带领团队打破了欧美多年来在生物材料领域生产菌种的专利封锁，打造了我国第一个拥有自主专利的大规模工业化 PHA 生产菌种，实现了“菌株 – 工艺 – 装备”全自主流程创新。

受访者供图

打开“特种菌”的“黑匣子”

PHA 是一种完全由微生物合成的可生物降解高分子材料，不仅能在自然环境中降解为水和二氧化碳，而且具备生物相容性、对人体无害、可较精准调控力学性能等特性。为解决白色污染问题，全球多国限制塑料的滥用，而 PHA 是传统塑料的理想替代品，被誉为“终极生物材料”。

想要生产 PHA，首先要找到适合的菌种。

1994 年，陈国强学成回国入职清华大学时，国际上普遍采用罗氏真氧菌和大肠杆菌培养 PHA 材料，但这两个菌种的核心专利一直掌握在欧美企业手中。

“因为没有专利，我们要改进菌种可能面临打官司风险。”陈国强介绍，利用传统菌种不仅有专利困境，也面临着培养难度大等问题。“传统菌种在高密度培养中不稳定，容易染菌，且在大规模发酵时分离提取难度大，导致设备成本高。”

为了破解上述难题，陈国强决定另辟蹊径寻找属于自己的菌种。他带领团队分析发现，极端环境里可能有“皮实”的新菌种。于是，他和团队开始从全国各地的极端环境中寻找。2006 年，一份从新疆艾丁湖带回来的样本让陈国强有了惊喜的发现：“我们在艾丁湖纬度最低的地方采集了一些土样，并分离出非常顽强的微生物。”

艾丁湖是我国新疆吐鲁番盆地的内陆咸水湖，也是世界最酷热干燥的地方之一，最热时地表温度能达到 80 摄氏度。团队在这里找到了极端菌种 *Halomonas*（盐单胞菌属）。“这种微生物展现出极强的生命力，其他微生物很难在极端环境下与其竞争，它就像‘特种兵’一样。”陈国强说。

其他国家专利体系很少覆盖极端环境微生物的工业应用，特别是嗜盐菌，但有一些学者认为高盐环境会腐蚀设备。不过，陈国强团队发现 *Halomonas* 作为嗜盐菌可在碱性环境下生长，碱性环境反而会降低金属的腐蚀速率。

这个发现让大家喜出望外，但下一步的基因编辑环节却让团队吃了不少苦头。

传统工业微生物已有成熟的基因编辑工具，能轻松进行改造。但 *Halomonas* 作为新的细菌，其基因调控机制如同“黑匣子”，既无现成工具可用，也没有基础研究积累，团队只能自力更生。

为揭开新菌种的奥秘，清华大学生命科学馆夜晚经常灯火通明，实验方案不断修改、重建。陈国强回忆道：“当时我们用了所有工具都没成功，我的两位博士生熬了 5 年，被逼得快要申请退学了。结果就在他们要退学的那段时间，有了意外发现，打开了这个‘黑匣子’。”

历时 5 年，陈国强团队自主研发出专用的基因编辑工具，实现了对该菌的精准代谢通路设计。

实现“实验室 – 产线”无缝衔接

虽然实验室里有了新突破，但要跨越到工业化应用，还差着十万八千里。

“我们不知道拿到工业界行不行。”在陈国强眼里，实验室和工业界有着不同的维度。“如果实验室是二维空间，工业界就是三维空间。三维视角会看到很多在二维空间看不到的问题。”

面对工业化难题，陈国强团队决定“兵来将挡，水来土掩”。比如，在实验室里做离心操作很简单，可以用离心管处理，但无法满足工业规模生产的大批处理需求，于是他们通过形态学工程增大了细胞体积，从而提高离心效率；实验室中发酵时间需要数天，也不能满足工业化效率需求，于是团队通过改变菌种分裂方式，将发酵时间缩短到 36 小时；在实验室中氧气供应容易满足，但工业上很难实现，团队就改造了微生物的氧气吸收能力，发展了新的反应器 – 反转反应器，大幅度提高了微生物生长的密度。

破解了多个工业应用难题后，陈国强团队尝试到真正的工业生产线去验证。第一次他们在山东找到了合作工厂，顺利生产出 5 吨 PHA，首战告捷让大家兴奋不已。高兴之余，他们也很清楚，5 吨还远远达不到工业应用的真正水平。随即，团队开始了第二次工厂试验，他们在福建一家生物企业实现了 20 吨发酵罐的顺利生产。

此时，陈国强团队已经有信心挑战更大规模的生产，他们决定在北京建立产线。“在北京，上午工厂遇到问题，下午就能到我们的实验室解决。”在清华大学的支持下，微构工厂正式成立，团队从此实现了“实验室 – 产线”的无缝衔接。

一段奇妙的缘分

陈国强没有忘记最初的目标——要打破垄断，就要继续做大做强。可是，哪里能找到更大规模的发酵罐呢？这还得从一段奇妙的缘分说起。

1987 年，陈国强在奥地利格拉茨工业大学攻读博士学位，一家中国酵母研究所前来购买菌种和相关技术设备。在大使馆的介绍下，他们找到了既懂微生物学，又精通中文、英语和德语的陈国强当翻译。

“当时帮他们翻译了一个月，包括接种、工业操作等，自己赚了不少零花钱，也学到了很多知识。”陈国强笑着回忆道，“以为他们是小打小闹，没想到后来做那么大。”后来，这家酵母研究所逐步发展成为世界第二大酵母企业——安琪酵母。

2021 年，陈国强的嗜盐菌技术需要更大规模的工业化验证，恰好安琪酵母拥有 225 吨的发酵罐，双方又一次开始了合作。

当年，世界最大产量的一次 PHA 发酵生产是 160 吨。对陈国强团队而言，此前 20 吨的发酵罐试验还有经验可以参考，但要放大到 225 吨，大家心里都没底。

怀着紧张、激动的心情，陈国强团队在安琪酵母工程师们的帮助下，在四层楼高的发酵罐里开始了试验。“结果第一次就成功了，我们都觉得是运气太好了。”随后，陈国强团队又展开了一轮试验，也成功了。

这一次，全世界都关注到了他们的成绩。凭借嗜盐菌合成生物学及其“下一代工业生物技术”生产 PHA 的优异成果，陈国强获得了 2023 年度国际代谢工程奖，成为首位获得该奖项的中国科学家。

“实验室工作是从 0 到 1，工业试验是从 1 到 10，接下来，我们将走在 10 到 100 的路上。”陈国强感慨，“每个阶段的挑战都不一样，能走到今天，真的太难了。”他透露，团队近期和多个行业巨头达成合作，范围包括 PHA 的环保纸张、可降解农膜、环境友好包装材料等。未来他们计划继续扩大产业规模，建立年产 10 万吨的 PHA 生产基地。

中国高校成果转化率，怎么提上去？

■本报记者 沈春蕾

如何有效跨越“死亡谷”，是科技成果转化的一个“老生常谈”又“历久弥新”的话题。当前，我国提出科技自立自强、产业链自主可控，这对高校成果转化工作提出了更高要求。

今年 1 月，中共中央、国务院印发《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》再次强调，提高高校科技成果转化效能。

近日，在中关村科技成果转化 50 人论坛上，与会的相关部门负责人、专家学者围绕科技成果转化领域的热点和关键问题展开了深入研讨和交流，并结合各自的工作经历，分享并总结了科技成果转化工作的相关做法和经验。

科技成果转化的起点

2024 年，首个全国高校区域技术转移转化中心在江苏落地，标志着教育部正式启动构建以区域为中心、高校大学科技园为节点的新时期高校科技成果转化体系。

谈及高校如何源源不断产出高价值和可转化的科技成果，北京市教委副主任张耀天表示，科技成果转化的起点首先要有高价值、可转化的成果，没有高价值的成果，转化工作就是无源之水，无本之木。

今年 3 月，北京市发布《首都高校发挥基础研究主力军作用若干措施》。张耀天认为，这份文件的出台将通过有组织地强化基础研究，加快解决科技成果转化源头的成果供给问题。

在北京航空航天大学教授、中关村智友人工智能与机器人研究院院长王田苗看来，推动科技成果转化的关键要素是生态、人才和需求。他解释说，在生态层面，需要从基础研究入手，通过产业链和资金链为创新链和人才链提供有力支持；在人才层面，通过科技成果转化实践可以高效地发现、培养和发挥人才作用；在需求层面，个体自身发展的需要，企业降本增效、产业转型、提升市场竞争力等方面的需求，都会给科技成果转化带来新课题。

围绕如何衡量一座城市、一所高校的科技成果转化率，业内人士曾展开过多次探讨，但一直没有特别权威的结论。“我们把在产学研合作过程中校企双方联合申请的专利纳入了已转化科技成果的范畴。”张耀天介绍了北京的做法，“按照此方法，我们初步计算出北京高校科技成果转化率约为 28%。”

“虽然这与欧美发达国家 40%～50%的平均转化率还有相当大的差距，但我们内部也需要思考，是不是将成果转化率的分母做得过大了，以及高校的学术价值和社会的经济价值之间是否存在矛盾，从而影响了科技成果转化率的计算。”张耀天说。

张耀天透露，北京正在争取建设全国高校区域技术转移转化中心，围绕一些特定的研究方向建立了一系列新型评价机制，希望进一步推动高校科技成果转化。

3 个“90%多”的问题

当前，以人工智能、机器人、量子科技、生物科技为主导的科技创新，正在改变全球产业结构、生活方式。在这样的背景下，科技成果转化被摆在了前所未有的重要位置，也面临着更严峻的挑战。比如，如何解决科技成果转化过程中的“死亡谷”问题。

王田苗分析发现，市场在动态变化，创新团队也在变化，甚至技术生态也在持续演进。统计显示，大部分科技成果在转化中过早夭折的主要原因是，市场需求不明确、现金流断裂、创业团队分裂。

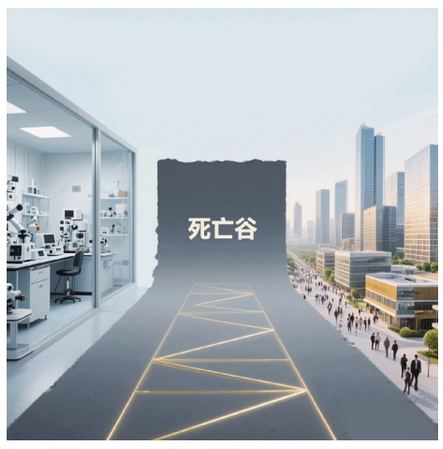
王田苗认为，在科技成果转化过程中，尚须进一步完善相应政策，明确阶段性转化主体，并积极探索多元的转化路径。此外，还要充分理解两个核心要点：一是从国家战略层面推动科技成果转化的迫切需求，二是必须回归市场牵引的商业本质。只有形成良性循环，才能找到有效的科技成果转化方法，早日跨越“死亡谷”。

以机器人领域为例。王田苗介绍，在中国，92%的机器人专利申请主体是大学，企业仅占 4%，这与其他国家主要以企业为专利申请主体形成了鲜明对比。“我国当下专利分布与产品创新的主体分离问题依然严峻。”

王田苗举了 3 个“90%多”的问题例子。一是 90%多的专利可能并没有实际应用价值，往往是为了满足考核需求而申请的；二是在工科高校选聘的教师人才中，90%多的教师缺乏企业工作经验；三是 90%多的高校师生并不知道如何创业，也不清楚自身的创业目的。

长三角国家技术创新中心主任刘庆结合自己过往工作经历发现，我国的博士生毕业后先去企业工作再去高校当老师的不到 5%。“高校老师如果不知道企业在干什么，估计也就不清楚科技成果该如何转化，更不能教会学生如何到企业一线工作。”

墨子曾说：“士虽有学，而行为本焉。”刘庆对此的理解是，知识分子虽然有学问，但亲身实践才是根本，也就是现在常讲的学以致用、知行合一。



AI 制图

刘庆希望高校能够培养学生发现问题、定义问题的能力。他提出了 3 点建议：一是以技术企业的需求作为课题，由企业和高校联合培养研究生，采取双导师制；二是高校本科生每学年实行三学期制，其中包括 4 个月工作和 4 个月学习，从低年级开始解决部分学生上大学后没有目标、没有理想的问题；三是高校可以采取项目制教学，学生可以在老师带领下参与完成一个项目，在此过程中既可以掌握书本知识，也能学会企业生产技能。

从“一本汇编”到“一双慧眼”

“20 世纪 90 年代，清华大学每年年底都会印发一本科技成果汇编。我们拿着这样‘一本汇编’行走大江南北，四处分发，广受欢迎。”粤港澳大湾区国家技术创新中心副主任、清华大学珠三角研究院常务副院长王德保回忆起自己开始做成果转化时的经历。

2000 年后，互联网快速发展，早期信息传播工作很快就被互联网取代。“形势逼人，我们这些做科技成果转化工作的人的角色也发生了转变，从一个设计师转变为一个投资者。”王德保说。

之前为什么是设计师？王德保解释道：“因为除了信息的简要介绍，我们还要完成可行性报告的撰写，同时做好创业项目全生命周期的成长规划。而转变为投资者后，主要任务则是做好产业化落地、科创企业的培育孵化，还有一个基础性的重要工作是进行创新体系的建设。”

随着一些独立法人的实体机构开始市场化运作，创新要素也开始聚集，但这时王德保发现了一个关键的稀缺要素——资金。“项目要发展壮大必须有资金投入，此时我们手上拿的已从‘一本汇编’转变为‘一张支票’。”王德保说，“当我们有‘一张支票’的时候，才可能聚天下英才为我们所用。”

这对从事成果转化的工作人员提出了专业化要求，也对成果转化机构提出了独立实体、自主决策、自主聚集资源的要求。王德保表示，一直以来，成果转化机构大多附属各个高校、科研院所，实际上是缺乏独立性和自主性的，所以才出现了新型研发机构。

他认为，新型研发机构的主责主业就是做好科技成果转化，为成果产业化架起一座桥梁。当然这座桥梁说起来容易，搭建起来还是比较有挑战的。“因为当你手里没‘牌’，只是聚集别人的各种创新要素的时候，桥是搭建不起来的。”

“我们要做的事情就是设计好桥梁，以投资人的方式支持研发、聚集人才，投资后还能赋能企业。这样就能将一个科技项目落地为一家创业企业，然后孵化成长为一家成功的公司。”王德保说。

在王德保看来，成果转化真正的困境是资本不往前端走，产业也不往前端走，科研不往后端走，中间地方就空出来形成了谷底，所以才有了跨越“死亡谷”的说法。这也是从事转化的工作人员和机构应该重点发力的地方。

“我们现在做成果转化，真正发力的点就是将一系列技术组合并集成为产品，作为企业主营业务，以投资方式成立创业公司。”王德保说，公司成立后，我们还要帮助其跨越“死亡谷”。“而真正的牵引还是投资。有投资才能够聚人，有投资才能够支持技术产品持续迭代，有投资才可以让企业度过资本的寒冬。”

“当下，从事成果转化工作者的角色又一次发生转变，即成为一名组织者。”王德保表示，“现在，我们的主要任务一是向前要有前瞻性的眼光，找准技术突破方向，全力组织高校相关人员开展技术攻关；二是向后要看到产业落地，组织好成果转化工作。”

“现阶段，成果转化从业人员的关键能力就是洞察力和鉴别力，关键抓手也从手拿‘一张支票’提升到拥有‘一双慧眼’，能够穿越时代的迷雾，发现市场真正需要且有价值的东西。”王德保说。

资讯

RNA 技术研发与产业化项目获大学生创业基金资助

本报讯（记者王昊昊）日前，中国工程院院士、中国科学院亚热带农业生态研究所首席研究员印遇龙领衔的单胃动物营养研究团队在科技合作和成果转化上取得新进展。其团队博士研究生王芳以“RNA 技术研发与产业化应用”为主的项目，历经初审、路演等四轮严格评审，最终从 2000 多个申报项目中脱颖而出，成功获得湖南省大学生创业投资基金 100 万元资助。

为解决生猪病毒性感染问题及突破协同益生技术壁垒，团队通过前期筛选，研发了 RNA 在生猪体内稳定性控制技术，攻克纳米级靶向材料在生猪体内递送中的关键技术，使目标产物靶向存量提升 15%以上，开发了具有自主知识产权的技术工艺。项目聚焦 RNA 技术研发与商业化应用，旨在推动实验室成果向市场转化的进程。近两年，团队已在湖南、福建、江西等地进行效果验证工作，应用效果显著。

目前，团队正在加速推进技术成果在大规模养殖场的应用有效性及安全性评价工作，旨在为行业提供优质的解决方案，未来有望在畜牧健康、农业生物医药等领域形成创新集群。

国产软件让我国玻璃原料年省成本数千万元

本报讯（记者陈彬 通讯员郭秀芳）日前，由南京财经大学副教授韩伟团队自主研发的玻璃套裁优化算法及成套应用软件，以 95%的平均利用率打破西方国家的软件垄断，使我国在玻璃工业原料利用及智能化转型方面取得重大突破，年节省原料成本数千万元。

据介绍，在玻璃加工领域，原料成本占比高达 55%，对于头部企业来说，1%的切割利用率差异即可撬动千万元级成本变化。长期以来，海外软件以 91%的行业基准占据主导地位，价格昂贵且不能与国产信息系统集成，这也成了困扰我国相关行业发展的“卡脖子”难题。

自 2010 年起，韩伟团队就致力于玻璃加工行业套裁优化算法与应用软件研究。10 余年来，该团队分别在套裁算法和应用软件方面取得了理论突破和良好的经济效益。目前相关软件已经在国内玻璃加工行业若干头部企业和上市公司实现集团级部署应用。

不同于传统运筹学解决方案，该团队采用模拟退火、进化算法等启发式智能优化算法，致力于提高玻璃加工套裁工序的原料（玻璃原片）利用率，即如何在给定尺寸的原片玻璃上，尽可能切割出不同尺寸的小玻璃，以充分利用原材料。相关数据集被同行作为基准测试数据集，并多次受邀参加相关国际会议。

目前，该团队在核心算法层面之上，致力于构建集群计算中心和云排样服务平台，以及“算法 + 算力”综合应用系统。未来，该团队将利用该平台，解决从玻璃行业应用到金属、板材、布料等多个行业的套料问题。

19 岁患者植入脑机接口用意念玩游戏

本报讯（见习记者江庆龄）近日，在天桥脑科学研究院的支持下，脑虎科技联合中国科学院上海微系统所研究员陶虎、周志涛团队，在复旦大学附属华山医院开展的高精度实时运动解码临床试验再获新突破—— 一名 19 岁右侧额叶癫痫患者成功植入脑虎科技自主研发的 256 通道柔性脑机接口，术后恢复良好，两日后顺利进入临床试验。

通过累计 19.87 小时的经典范式训练，受试者实现了对经典游戏《吃豆人》《坦克大战》和大型复杂游戏《王者荣耀》《黑神话：悟空》的精准脑控操作，且在增强型用户界面下光标脑控性能达 4.07 比特 / 秒。周志涛介绍，该反应速度接近正常人使用传统鼠标的操作水平，有力验证了脑机接口技术在复杂场景应用中的可行性，为运动障碍患者的功能重建带来了希望。

与此同时，基于脑虎科技自主研发的 XessOS 脑机操作系统，受试者还可通过意念流畅地上网和操作各种 App、控制智能轮椅和智能家居设备，显著提升运动功能障碍群体的自主生活能力。

值得一提的是，整个临床试验过程，受试者状态良好。试验结束后，复旦大学附属华山医院医生借助 256 通道柔性脑机接口精准定位癫痫病灶，成功实施病灶切除手术，使受试者运动功能区得到完整保护，恢复后的受试者未遗留任何功能障碍。“我们下一代无线版本的脑机接口产品已完成研发设计，预计今年开展相关临床试验。”陶虎透露。

广东发明专利有效量率先突破 80 万件

本报讯（记者朱汉斌）近日，记者从广东省市场监督管理局（知识产权局）获悉，截至今年 2 月底，广东发明专利有效量在全国率先突破 80 万件大关，达到 80.8 万件，已连续 25 年稳居全国首位。

据介绍，截至 2024 年底，广东省高价值发明专利拥有量 36.77 万件，居全国首位，占发明专利有效量的 46.4%，比全国平均水平高 4.8 个百分点；截至今年 2 月底，广东战略性产业集群发明专利有效量 56.12 万件，居全国首位，占全省发明专利有效量的 69.43%。在 20 个战略性产业集群中，新一代电子信息等 8 个产业集群发明专利有效量居全国首位。

此外，截至今年 2 月底，广东省 9.02 万家企业总共拥有发明专利 70.32 万件，占全省发明专利有效量的 86.98%；全国发明专利有效量排名前十的企业（不含港澳台）中，6 家企业来自广东；广东省专精特新中小企业发明专利有效量同比增长 26.81%，明显高于全省企业总体增速（19.58%）。

社址：北京市海淀区中关村南一条乙 3 号 邮政编码：100190 新闻热线：010－62580699 广告发行：010－62580707 传真：010－62580899 广告经营许可证：京海工商广登字 20170236 号 零售价：1.00 元 年价：218 元 工人日报社印刷厂印刷 印厂地址：北京市东城区安德路甲 61 号