

# 一门新兴交叉学科的创新历程

## ——离子束生物工程学\*

余增亮

(合肥物质科学研究院等离子体物理研究所 合肥 230031)

**关键词** 离子束, 生物工程学, 交叉学科

等离子体物理研究所是一个以承担国家大科学工程、主要从事高温等离子体物理、磁约束核聚变等相关研究的研究所。上世纪 80 年代末,正当国内外开展离子束金属、半导体、绝缘体等材料改性研究时,我们对离子注入生物体内的现象开始关注。通过与生物学专家的合作,历经坎坷,发现了离子注入生物效应,继而开辟了“低能离子与复杂生物体系相互作用”、“环境低剂量暴露与健康”、“低能离子在生命化学起源和星际分子形成中的作用”、“离子束细胞加工与修饰”和“离子束遗传改良”等研究方向。从此,一门由著名生物学家徐冠仁院士命名的交叉学科“离子束生物工程学”在合肥诞生,引起了学术界的关注。

经过 10 多年的努力,一个拥有 110 多名交叉学科队伍、5 000 万元资产、处于国内外本领域中心地位的中国科学院重点实验室发展起来,先后承担了 50 多项国家和地方项目,在基础和应用基础研究、装备研制、人才培养和成果转化等方面都取得了可喜进展。其创新成果相继入选建院 50 周年成就展和院“知识创新工程试点”90 项重大成果之一,并连续 4 次被安徽省政府授予省院共建突出贡献奖,与大学、企业等合作建立了多个联合试验室、工程中心和博士后工作站。国家自然科学基金会将其列入基金制实施 15 周年的两个原创性案例

之一。

一项 10 多年前名不见经传、鲜为人知的研究工作,之所以能脱颖而出,得到国内外同行的认可,这得益于我们坚定不移地依靠多学科交叉激发创新思维,瞄准社会生产需求凝练具有牵动性的课题并向下游延伸、最终形成了一个前沿领域,走出了一条特色鲜明的自主创新之路。回顾走过的创新历程,我们深深感到:

### 学科交叉是孕育创新的沃土

离子束与生物工程分属核技术科学和生物学两个一级学科。当初,我们进行离子注入水稻试验时,无法理解自己所获得的结果,在生物学家加盟后,不同专业背景科研人员在一起互相学习、共同研究,通过不同学术思想和专业知识的交融,碰撞出许多新的思想、概念和方法的火花。例如,当研究人员获得离子束刻蚀的细胞电镜照片与生物学家讨论时,便碰撞出离子束介导转基因的思想;同化学家就离子注入有机分子生成氨基或氨基酸的规律进行讨论时,便激发出低能离子在分子进化中作用的思想;还有注入离子在种子内长程运输、离子注入生物超辐射敏感性、当代可遗传变异等新现象的发现无一不是多学科交叉融合共同浇灌创新之树结出的果实。

同任何新生事物一样,离子束生物工程学的产生和发展引起了学术界的极大关注,专家们提出了不少科学问题,正是学术争鸣,有力

\* 收稿日期:2005 年 10 月 26 日

地推动和促进了知识的创新。针对专家提出的问题,我们融合相关的物理、化学和生物学知识,提出了低能离子与生物体相互作用产生能量沉积、质量沉积和电荷转移的“三因子”假说,推动了低能离子与生物体相互作用过程、离子注入生物效应的重现性等问题的研究,较好地解释了注入离子在种子内长程运输、反常辐照损伤、当代可遗传变异等特异现象,奠定了离子束生物工程学的研究基础。

在研究过程中我们认识到:低能离子与生物体相互作用是一个非常复杂的、系统的科学问题。我们一方面努力寻求理论突破,另一方面根据低能离子与生物体相互作用研究有很强的应用背景的特点,瞄准社会发展需求开展应用基础研究,在科学研究与生产实践的结合上,进行了一系列新的探索,因为我们深知:

#### 社会生产实践是检验科技创新的试金石

在探索过程中,我们根据社会生产需求拓展基础研究领域,注重以理论研究促进方法学的创新,应用方法学创新催生应用成果,用成果转化反哺基础研究,使创新逐步走上了良性循环的道路。

(1) 促进我国 Vc 行业在国际竞争中重新崛起。Vc 是我国战略出口产品,上世纪 90 年代初,国内有生产企业近 30 家,出口占国际市场份额的 30% 左右。1995 年,国际 Vc 巨头掀起价格大战,到上世纪末,我国 Vc 行业损失惨重,企业纷纷倒闭,只剩下四家苦苦支撑。在这种形势下,我们经过 3 年的研究,离子束生物工程技术对 Vc 菌改良取得重大突破,糖-酸克分子转化率达到 95% 以上,被认为是“自 Vc 二步法发酵发明以来的重大突破”,在此基础上,实验室又进行了耐高温 Vc 催化剂的科技攻关,降低了能耗,进一步提高了企业竞争力。在该技术的支撑下,从 2002 年起,我国 Vc 行业在国际竞争中重新崛起,成为国际主要供应商,当年就为国家新增外汇收入 2 千万美元。2003 年仅江苏江山一家,就创造利润 2

亿元;同时使停产多年的安徽蚌埠泰格药业重新恢复生产,实现产值 1 亿元、利税 2 000 万元、解决了 400 工人再就业。

(2) 花生四烯酸(AA)发酵技术催生一个新行业。AA 是一种人体必需的长链不饱和脂肪酸。1995 年联合国粮农组织和世界卫生组织在“人类的油脂”报告中,推荐 AA 作为婴幼儿食品添加剂。随着人们对健康问题越来越关注,AA 已成为极具竞争力的健康食品添加剂,市场需求巨大。在我国 AA 产品和市场还是一片空白时,我们就开始了“离子束修饰花生四烯酸催化剂”的攻关。经过 3 年的研究,发酵水平达到 5.1g/L,居国际领先,并具备了产业化的条件。1999 年,当国外公司申请登陆中国市场时,我们通过技术入股的方式,成立了“武汉烯王生物工程公司”,建成国内第一家 AA 专业生产线,很快打开了市场,产品被国家经贸委评为 2002 年度国家新产品,产品占据国内市场份额的 90% 并顺利通过美国、欧洲和伊斯兰食品认证,产品出口欧、美和东南亚 20 多个国家和地区,仅通过 3 年的市场培育,该公司就跨入国际第三大 AA 生产和供应商行列。目前,该技术已吸引了世界 500 强之一、国际第二大油品公司——嘉吉公司前来投资,预计扩产 600 吨/年,产值 10 亿,建成后我国将成为世界上最大的 AA 生产基地。

(3) 创制水稻新种质,改变双季稻种植模式。粮食生产是国家发展、社会稳定的关键因素。双季稻生产是我国提高粮食产量的重要途径。由于传统的双季稻种植模式劳动强度大,投入产出比较低,我国双季稻种植面积呈下降趋势。1997 年,离子束生物工程技术瞄准这一对水稻生产具有牵动作用的课题,经过 7 年 14 季的研究,创制出一种“早晚同种、连作直播”的水稻新种质。2002、2003 年春秋 4 季由省、市政府组织专家跟踪测评,每季亩产均在 500 公斤以上。经农业部稻米质量检测中心检测,达到部颁优质米标准。新技术每季每亩节省费用 189 元,配以机械化收割,一个稻农可

由原来只能耕作 5 亩发展到 50 亩。该技术的核心在于双季用同一个品种。该技术的采用,缓解了农村劳动力紧张的状况,受到稻区各级政府的重视,安徽省人民政府对此予以重奖。

(4) 耐储存作物的研究为国家粮食安全做贡献。1997 年前后,我国粮食连年丰收,粮食储存是个大问题。仅以水稻为例,由于每年更换陈化粮,损失就达数十亿元,给财政带来沉重负担。能否从作物种子入手解决这个难题呢? 1997 年,实验室将水稻耐储存问题列入研究课题。经过深入研究发现,醛类物质是影响稻谷陈化、缩短水稻种子寿命的直接杀手,脂肪氧化酶 Lox-1,2 是延缓稻谷陈化变质和延长种子寿命的关键基因,脂肪酶对稻谷的耐储藏特性以及种子的活性有着很大的影响。在此基础上,实验室利用离子束生物技术与常规育种相结合,发明了耐储存作物的筛选技术,创制了耐储存水稻皖鉴 2090。经仓储试验,储存 42 个月的稻种发芽率仍在 98%, 而一般水稻储存 24 个月发芽率几乎降为零。温家宝总理对此非常重视,亲自在相关报道上批示:“这是一项对保障国家粮食安全有重大意义的研究工作。要集中优势力量联合攻关,加快水稻及其它粮食作物耐储品种的培育和推广步伐,争取早日解决粮食安全储存问题”。

(5) 离子束植被改良综合集成固沙技术开辟治理土地荒漠化新途径。实验室利用学科交叉的综合优势,把离子束、植物、微生物和新材料进行技术集成,利用离子束改良,促使植物根系产生有机酸供微生物生长,微生物高效地从沙地中固氮、解磷、解钾为植物提供营养,再利用保湿材料的储水作用,建立良性循环的“植物根系微生态环境”。在国家“863”项目的支持下,综合物理、生物、化学、材料多学科知识,提出了可操作的试验模型。在实验室研究得到证实后,2003 年,在科尔沁沙漠边缘进行了两亩地的小试获得成功。2004 年,在条件更为恶劣的库布其沙漠进行了中试,经过两年风雕、沙蚀、干旱、严寒的考验,种植的 60 多亩

中试植被,在无外界水源、无沙障的情况下出苗生长,成苗率高于常规种植技术。再次被专家组评为“A”类项目,获得“863”项目的滚动支持。该项研究提出的治沙新概念和先进集成技术体系,目前尚无文献报道。

到目前为止,累计有 23 个新品种通过审定并得到推广,6 个新菌株实现产业化,研制出一大批特殊的育种材料,创造了显著的社会经济效益,同时,实验室基础设施建设、装备平台研发等方面也取得了长足的发展,申请专利 10 余项,其中,获得 2003 年国家知识产权局和世界知识产权组织发明专利金奖的“低能离子束细胞修饰技术和装置”已成为该领域技术支撑的基础,被国内外广泛采用;院重要方向性项目“我国第一台单离子束细胞精确定位照射系统”的研制成功,被专家认为是国内核技术及辐射生物学界的一件大事,是离子束辐照技术的重大突破,对辐射生物学和辐射环境生物物理中的热点问题深入研究具有重要意义,将大大拓展离子束技术的应用范围。更为可喜的是:

#### 学科发展促进了人才培养和知识传播

浓郁的学术环境、活跃的创新氛围孕育了一个又一个创新成果,也涌现出了一大批优秀拔尖人才,实验室的研究人员和研究生中有 17 人(次)获得包括全国“五一”劳动奖章、院长奖学金特别奖、中国博士后优秀论文一等奖、香港教育基金会“孺子牛”金球奖、国家杰出青年基金、安徽“五四”青年奖、安徽青年科技奖、安徽人才基金等嘉奖,有 20 多名硕士、博士毕业生和博士后已成为国内外本领域的骨干和学科带头人,同时还吸引了不少从美国、日本、澳大利亚归国的博士、博士后加入。目前实验室已形成了一支由固定人员、在研博士后、高级访问学者、外籍兼职研究员和研究生组成的、专业涵盖物理、化学、生物和工程等多学科的研究队伍。正是这样一个学科融合交叉、学术思想活跃、充满活力和创新精神的集

体,推动着离子束生物工程学在国内外的不断发展。

从离子注入生物效应发现、基本理论体系的初步建立到相关技术发明、大量成果转化、取得显著经济社会效益的10多年里,创新知识也得到了广为传播、辐射,带动了国内外离子束生物工程学的发展。以实验室原创性技术为依托建立了国家产业化基地2个,帮助建立了7个省、部级离子束生物工程重点实验室等研究机构,研制的6台小型实用化离子束生物工程装置装备了安徽、新疆、内蒙古离子束生物工程重点实验室和江苏、浙江的国家生化工程技术中心,形成了向周边省市辐射并覆盖全国部分地区的网络,拥有完全自主知识产权的技术和装置成为了离子束应用技术领域重要的技术支撑平台。

从1998年起,我们应邀在“生命起源”、“生物物理医学”、“离子束材料改性”等国际会议上做大会报告6次,引起国际学术界的关注,随后美国、瑞士、意大利、西班牙、日本、泰国等国的科学家也开始了相关研究。1998年底,由安徽科学技术出版社出版的专著《离子束生物技术引论》,2005年被纽约Springer出版社翻译成英文作为教科书在美国出版。该书翻译者之一、美国Berkeley国家实验室的Brown博士在他担任主席的第二次国际离子束与材料相互作用国际讨论会上特别指出:“余增亮所在的中科院等离子体所和他的实验室开创了一个全新的、极具魅力的离子束技术应用领域,是国际上该领域的引领者。他们的工作显示:离子束技术造福人类有着极为广阔的应用前景。”

回顾十几年走过的曲折创新道路,我们最

深的感受是:

### 勇于面对困难就没有过不去的坎

众所周知,创新之路难行,难就难在每前进一步都要付出极大的努力。搞学科交叉更要有勇气闯过文化背景关、评价体系关、管理体制关、专业氛围关和心理素质关。传统思想的束缚、专业语言的隔阂、部门条块分割的局限,都是在学科交叉融合中必须跨越的。

实践告诉我们,只要方向正确,终能修成正果。正是由于方方面面的扶持与呵护,也正是有一批献身交叉学科领域的青年科学家,具备了不迷信、不自卑,不抱怨、不责难、不轻言放弃的心理素质和科学工作者高度的历史责任感以及忘我、奉献、诚信的良好心态,离子束生物技术才会有今天。在创新道路上跋涉的过程中,我们还体会到:选题上要重国情,不可盲目跟踪前沿;实践中要敢于涉足其它学科,学会换角度思考问题;研究时尽可能列出多种方案,寻求最优的结果。只要善于学习,勇于挑战再加上团队的协作精神,创新的路一定会越走越宽。

离子束就在我们身边,影响人的情绪和健康,甚至可能导致生物的突变。下一步,离子束生物工程学发展的重点是以低能离子与生物体相互作用研究为基础,发展单离子微束和细胞修饰新技术新方法,评价环境低剂量暴露的危害性,研究工业生物技术、农业生物技术和环境健康领域前瞻性、基础性、战略性的共性科学技术问题,为社会可持续发展提供更多更好的高技术储备,为全面建设小康社会做出更大的贡献。

(相关图片请见封二)

**余增亮** 男,合肥物质科学研究院研究员,博士生导师,中国科学院/安徽省离子束生物工程学重点实验室主任。1968年毕业于合肥工业大学。1986年发现离子注入生物效应,提出低能离子与生物体相互作用能量沉积、质量沉积、电荷转移引起诱变效应的假说,发表论文百余篇,开辟了离子束在生命科学研究中的应用的新领域。获安徽省人民政府“省、院贡献奖”3次,中科院自然科学奖二等奖、安徽省自然科学奖一等奖和国家专利金奖各1项。