

给水果“贴膜” 保 10 天不坏

■本报见习记者 李媛

夏天到了,西瓜、荔枝、芒果等水果格外诱人。可买回家没几天,有些水果就开始发霉变质,让人心疼又无奈。这不仅是我们的烦恼,也是全球性难题。据统计,每年约有一半的水果因为腐烂而被白白扔掉。

最近,陕西师范大学化学化工学院教授杨鹏团队开发发出一种可以吃的“水果保护膜”。这种特殊的涂层能让水果保鲜时间延长 5 倍,就连切开的西瓜放在冰箱里也能保持 10 天不变质。最重要的是,这项技术完全不用化学防腐剂,安全又环保。相关成果发表于《自然-通讯》。

全方位防腐 “一箭多雕”

杨鹏介绍,水果容易变质是多种因素共同作用的结果。除了微生物的侵袭,水果自身的生命活动也是一个重要原因。“比如,苹果、香蕉、猕猴桃等呼吸跃变型水果,在采摘后仍会释放乙烯等气体,使其继续成熟。”杨鹏解释说,市面上的一些保鲜手段会通过减缓水果的新陈代谢延长保质期。此外,水果在储存过程中还会损失水分和营养,使得口感和风味下降。

杨鹏在深入分析导致水果腐烂的关键因素后敏锐地发现,他长期研究的蛋白质淀粉样聚集体材料,或许能提供“一箭多雕”的解决方案。这种特殊材料具有独特的结构和性能,有望从多个维度协同解决水果保鲜难题。

蛋白质淀粉样聚集体是一种特殊的蛋白质结构,在自然界中其实很常见。人们最熟悉的例子可能是阿尔茨海默病患者大脑中的淀粉样蛋白斑块。

不过,杨鹏解释说,这类蛋白质聚集体并非都是有害的,而是在很多正常生理过程中发挥着重要作用。比如,植物会利用这种结构来储存蛋白质;儿童换牙时,新牙的生长也需要这类蛋白质聚集体引导矿物质沉积。不同蛋白质形成的聚集体,功能各不相同。

这类天然蛋白质聚集体有一个很特别的性质,那就是极强的黏附能力。杨鹏团队想到,如果将其制成薄膜覆盖在水果表面,就能像“防护服”一样隔绝空气,避免水分流失,从而延缓水果变质。

可是,传统制备方法需要高温、强酸和有机溶剂,不仅耗时长——需要几十小时才能生成少量纳米纤维,还违背了环保理念。

好在杨鹏课题组已经找到更好的解决方案。他们开发出一种新方法,通过温和处理蛋白质中的二硫键,就能制备出黏性更强、更易降解的类淀粉样聚集体(PTL)。这种材料质地柔软,能快速在物体表面铺展成膜,黏附效果比天然聚集体好。



ALP 保鲜涂层可以延长水果的保质期。
陕西师范大学供图

更厉害的是,在制备过程中,PTL 表面会暴露出多种活性基团。这些基团就像“小抓手”一样,既能增强涂层内部的结合力,使薄膜更牢固,又能与水果表皮的蜡质层紧密结合。这种双重作用大大提升了涂层的稳定性和保护效果,为延长水果保质期提供了可靠保障。

为了让 PTL 涂层在延缓水果代谢的同时具备杀菌能力,杨鹏团队选用了人体内天然存在的一种抗菌蛋白——溶菌酶。它可以破坏细菌的细胞壁,从而起到抑菌作用。研究人员将半胱氨酸和溶菌酶混合,使溶菌酶变成扁平的 PTL 结构的同时保持了部分杀菌活性,而 PTL 表面的正电荷和疏水基团进一步增强了对细菌的杀伤力。此外,半胱氨酸也具有抗氧化特性,有利于水果保鲜。

杨鹏团队还在 PTL 体系中加入了安全可食用的天然物质海藻酸钠和纤维素纳米晶,即形成 ALP 保鲜涂层,进一步增强了涂层的成膜能力和气体屏障性能。

涂层可降解 无毒无害

杨鹏团队在 17 种水果上进行了测试,既包括草莓、枇杷、冬枣、金橘等非呼吸跃变型水果,也包括圣女果、芒果、油桃、香蕉、猕猴桃、无花果、枸杞等呼吸跃变型水果。“无论是哪一类,涂层都表现出良好的保鲜效果。”杨鹏介绍。

实验结果显示,这种涂层显著延长了水果的保质期,最长可延长至原来的 5 倍。例如,在温度 23℃、湿度 50% 的常温条件下,未处理的草莓第 4 天即出现了腐烂;涂有 ALP 的草莓直至第 10 天仍无明显腐

烂,此时未处理的草莓已完全腐烂。

该涂层对其他水果也展现出显著的保鲜效果。枇杷的保质期从 4 天延长至 16 天,冬枣从 12 天延长至 21 天,金橘从 15 天延长至 30 天,圣女果从 6 天延长至 16 天。即使是极易腐烂的芒果、油桃、香蕉和猕猴桃,保质期也从短短 2 天延长至 8 天。保质期只有 1 天的无花果和枸杞,则分别延长至 3 天和 5 天。

令人惊喜的是,即使在高温环境下,ALP 涂层依然能达到稳定的保鲜效果。在 37℃ 下,芒果和草莓的保质期分别延长了 3 天和 4 天;在更极端的 42℃ 下,其保质期分别延长了 2 天和 3 天。

研究团队还测试了用 ALP 涂层对鲜切水果的保鲜效果。实验结果显示,在温度 4℃、湿度 50% 的冷藏条件下,未经处理的果切拼盘在第 4 天就开始出现褐变和腐烂,而使用 ALP 涂层处理的果切拼盘直到第 10 天依然色泽鲜亮、质地良好,整体保质期延长了 4 倍。而且,即使在 42℃ 的极端高温下,ALP 涂层也能使鲜切苹果的保质期延长 2 倍。

更重要的是,测试结果显示,ALP 保鲜涂层不仅延长了水果的保质期,还能有效保留其营养、风味和质地,整体口感和新鲜度更持久。

涂层安全吗?杨鹏表示,这种保鲜涂层原料简单且天然,制备过程仅需中性水溶液,无需额外添加其他任何化学成分,因此十分安全。他们通过动物实验验证了 ALP 涂层的食用安全性。而且无论是在人体内还是自然环境中,这种涂层都能轻易被降解。降解的产物无毒无害,不会造成环境污染与人体危害,可以实现绿色循环利用。

除了保鲜效果显著,这种涂层在环保和经济性方面都具备显著优势。与高成本、高能耗的冷链运输相比,ALP 涂层不仅便于常温储存,还能显著减少碳排放。以圣女果为例,传统冷链存储下,圣女果的保质期仅为 4 天,每千克产生约 0.055 千克碳排放;而使用 ALP 涂层处理后,圣女果可在室温下保存 10 天,碳排放仅为冷藏保鲜的 1/10。

根据团队的初步计算结果,使用 ALP 储存水果的成本非常低,小试规模下每千克水果的保鲜费用仅为 0.65 元,未来扩大生产规模可进一步大幅降低保鲜经济成本。

如今,杨鹏团队计划将这款可食用的水果保鲜涂层推向市场。杨鹏表示,他们正在持续优化 ALP 涂层溶液的稳定性和保质期,力求让果农和食品供应商更方便地采用这一低成本、绿色环保的新型保鲜手段。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-60382-4>

发现·进展

中国农业大学

提出作物高产与土壤健康协同研究新范式

本报讯(记者温才妃)人病了,要看病;“土病了”,该怎么办?中国工程院院士、中国农业大学教授张福锁团队将生态学研究中的“植物-土壤反馈”思想引入农田生态系统,创新性地提出作物高产与土壤健康协同的系统化研究新范式。相关综述文章近日在线发表于《科学》。

我国中低产田共 13.91 亿亩,占耕地总面积的 68.8%,已制约耕地产量、产品质量和资源效率提升。“土病了”其实是单一、连年种植作物的土壤中积累了大量病原微生物,导致作物减产;或过度投入化肥、农药等化学品,导致土壤酸化、次生盐碱化、土壤生物多样性下降等,影响土壤健康,最终导致“投入越来越多,地越种越‘馋’,资源效率越来越低,作物品质和环境生态越来越差”的恶性循环。

造成这种现象的根源在于,种植农作物长期过度重视产量,忽视了农田管

理措施对土壤的反馈效应,即“遗产效应”,导致土壤负反馈不断加大、正反馈缩小,土壤越种越差,而非人们期待中的越种越肥。

为此,研究人员提供了两个主要思路:让有益的微生物越来越强,让致病菌的作用越来越弱,也就是强化正反馈,消减负反馈;优化农田管理,实行多样化种植,以支撑作物高产。上述设想已在位于广东金德的香蕉科技小院中试验,不但提高了香蕉产量,而且大幅度提升了品质。

“土壤健康受益最大的是小农户,特别是中国、印度、非洲等小农户众多的国家和地区。未来,我们还将借助现代分子育种与功能基因组学等手段,优化田间管理,实现定向改良、精准招募,让产量提升与土壤健康发挥协同作用。”张福锁表示。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1126/science.ads2506>

中国科学院国家空间科学中心

新方法让卫星看清森林垂直结构

本报讯(记者倪思洁)近日,中国科学院国家空间科学中心研究员雷洋团队在国际上首次利用新技术方法,“看清”了多个森林的垂直结构信息,对森林碳储量估计、森林资源变化监测、环境保护和生物多样性研究具有重要意义。相关成果发表于《环境遥感》。

当前,卫星监测已是一种常见的林业监测手段,星载 L 波段双站合成孔径雷达干涉测量被认为是一项有潜力的技术。然而,若想获得森林的垂直结构剖面、林下地形、树高等三维垂直结构信息,还需要多种极化、多组基线才能实现,对卫星载荷资源的要求较高。国内外相关的双站干涉雷达卫星主要采用单基线和单极化观测模式,在很大程度上制约了其在林业方面的应用。

研究团队以我国海南岛的热带雨林为研究区域,重点聚焦海南热带雨林国家公园,这里是研究森林生态系统的理

想场所。团队借助中国陆探 1 号卫星任务所获取的星载 L 波段双站雷达干涉数据,采用小视数干涉相位高度直方图方法,生成了覆盖中国海南岛整个热带雨林地区、总面积达 2.74 万平方公里的大规模森林三维垂直结构剖面、林下地形和森林高度分布图。经过与机载激光雷达数据验证,对于高度在 45 米的热带森林,其高度估计精度约为 5 米,相对误差在 10%至 15%之间。干涉技术估计的林下地形数字地形模型与机载激光雷达数字地形模型相比,偏差可忽略不计。

雷洋表示,该研究为结合国产星载 L 波段双站雷达干涉数据的升降轨观测,进行大规模森林三维垂直结构剖面、高度指标、生物量、林下地形以及这些森林参数变化的全面测绘开辟了新道路。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114916>

晶途两代人 报国一条心

——我国功能晶体材料事业奋进历程回眸

■本报记者 廖洋 通讯员 任颖 夏雪

在中国功能晶体材料发展史上,中国科学院院士蒋民华是一个里程碑式的人物。他用一生践行“科技报国”,带领我国功能晶体材料事业逐步走向世界舞台。

2025 年,正值蒋民华院士九十周年诞辰,山东大学晶体材料全国重点实验室主任徐现刚团队近日迎来了重大突破——我国首块 12 英寸半绝缘碳化硅单晶成功出炉。碳化硅是国产相控阵雷达探测距离提升 3 倍的“核心密码”,是新能源汽车充电时间缩短至 1/3 的“动力引擎”,更是中国宽禁带半导体产业突破“卡脖子”技术的“战略基石”。这一成果的背后,是蒋民华筚路蓝缕的开创和一代接班人矢志不渝的坚守与不断前行。

“蒋先生是我们的精神灯塔。”蒋民华的学生徐现刚对《中国科学报》说,“我们跟着先生的脚步,二十年磨一晶,用一生的时间突破半绝缘碳化硅单晶,为国家做点实实在在的事情。”

像做晶体一样做学问

《中国科学报》:你如何理解蒋民华的科学精神?

徐现刚:蒋先生的科学家精神集中体现在几个关键词上:求真务实、开拓创新、使命担当、视野宽广、深入一线。我把它总结为“晶体精神”。他常说:“做晶体和做学问是一样的,都要脚踏实地、追求完美。”这句朴素的话,是我们实验室几十年来一以贯之的信条。

蒋先生科学家精神的精髓在于“科技报国”。“科研要瞄准国家急需”,他的这句话始终是我们科研生涯的“指南针”。他自己是这样践行的:上世纪 50 年代,在设备匮乏、原材料极其有限的情况下,他带领团队用金鱼缸做恒温槽、标本瓶当有晶器,以葡萄酒厂酒石酸为原料,一遍遍摸索 KNT 晶体(压电晶体酒石酸钾钠)的生长工艺,最终解决了我国海军声呐工程中的核心材料问题。

晶体材料国家重点实验室成立时,他定下发展宗旨“需求牵引,单晶为本,敬业团结,育晶育人”。蒋先生特别强调需求牵引,教导我们科学研究要服务国家重大需求,科研人员不能整天浮在上面、看看文献开开会,而要沉到科研第一线。他认为,科研要务实,如同一块晶体拿出来,总要看得见,还要用得上。科研成果不能停留在书架上,还要到应用中去。

在晶体创制方面,他不仅鼓励我们要“补课赶超”,更强调在“有了”之后还要“做到最好”,始终要快一步、有优势、走在创新前沿。他推动实验室的晶体产业形成了“人无我有、人有我优、人优我廉、人廉我新”的研发范式。

《中国科学报》:蒋民华还是一位卓越的教育家。请你谈谈他的教育理念。

徐现刚:蒋先生是一位真正的教育家,他育人的理念与方法至今仍深刻影响我们这一



蒋民华(左)与徐现刚在实验室。



徐现刚(右)指导学生。 受访者供图

代科研工作者。他桃李满天下,始终坚持授人以渔,强调激发学生的内驱力,并且深谙因材施教之道。他认为,育人不仅仅是传授知识,更重要的是教学生如何思考、解决问题,如何为国家作出真正的贡献。

1989 年,我报考他的博士生。我本科和硕士都是学物理的,刚接触晶体材料,心里很忐忑。面试时,他却先给我们讲了一节晶体课,讲完后他才现场提问,因为他更看重学生的理解和思考能力。

除此之外,蒋先生知识面极其广博,讲课引人入胜,让人豁然开朗。他让我们更加注重人文与科学的结合,以及多学科交叉的学习。他不仅讲知识,更讲精神。长晶体是必须有“种子”的,称为“籽晶”。在我看来,先生就是那颗“籽晶”,他在育苗的同时非常强调育人。他始终身体力行教导我们,不仅要成为会做实验的人,更要做一个“对国家有用的人”。

二十年铸“国芯”

《中国科学报》:作为蒋民华的学生,你如何认识“传承”与“创新”?你带领团队为国家重大需求做出了哪些突破性成果?

徐现刚:1995 年,蒋先生教导我“要有国际视野”,送我先后赴德国、加拿大、美国深造。

在加拿大期间,我用了几个月攻克了困扰研究所 3 年的半导体薄膜生长难题;在美国期间,我又深度参与了半导体产业化工作。2000 年,蒋先生超前布局光电子产业,我第一时间响应先生号召,举家回国。

一回来,他交给我两项科研任务,一是实现碳化硅晶体,二是解决高性能半导体发光材料的产业化问题。这两座“大山”是科研攻关的“卡脖子”问题和“无人区”。对我来说,更是先生的使命传递。这一干就是 20 年。

碳化硅是宽禁带半导体材料的典型代表,受到长期技术封锁和产品禁运。我们选择从最底层理论破局,创新性提出“成核控制理论与能级调控结合”方案,自主设计研发晶体生长设备,让晶体生长从“盲人摸象”变为“精准调控”,将微管、螺旋错密度等直接影响碳化硅使用的缺陷从每平方厘米数百个降为零,达到国际领先水平。

在研发过程中,我们构建起百余项核心专利群、首个半绝缘碳化硅军品标准,成果已应用于国防装备,这些“中国芯”成为国家安全的“硬核盾牌”。我们还突破了 8 英寸 n 型碳化硅制造核心技术,助力新能源汽车充电时间缩短至 20 分钟以内、续航提升 20%,为产业“换道超车”注入“中国芯”动力。这两类成果,为推动国防装备升级换代和国民经济建设发挥了重要作用。

但我们清醒地认识到,整体上我们仍是“追赶者”。在原理论、转化机制上,欧美起步早、积累厚,这是现实。但我们有自己的路径,优势在于体系动员能力强、青年科研力量充沛、聚焦国家战略任务的意识更为突出。我们把过去“以学科为中心”的研究模式,转变为“以国家重大需求为牵引”的系统化任务布局,既有传承,也有创新。这就是我们探索出的一条“差异化路线”。

《中国科学报》:实验室公告栏上有你手写的“科研三问”——“国家需要吗?能落地吗?经得起检验吗?”请你展开说说。

徐现刚:20 年前,国内宽禁带半导体晶体面临“长不出、长不好、难加工”的困局,国外专家嘲讽我们“连炉子都不会烧”。研究背后是国家的核心需求。当时看到这种局面,我下定决心,从基础理论、关键工艺、核心装备到量产验证,一条一条啃下来。

20 年来,碳化硅单晶炉全年 365 天持续运行。春节期间,我们仍坚守一线,不放过实验过程的每一丝变化,上千次实验记录早已填满了 4 个档案柜。通过坚持不懈的努力,我们建立起完整的自主体系,实现了 12 英寸晶体的稳定制备。这不仅是材料技术的突破,更是“从无到有”建立了我国在这个领域的底层保障。

“国家需要吗?能落地吗?经得起检验吗?”这 3 句话是这些年科研工作的基本坐标系,它始终提醒我们,国家需要什么,我们就研究什么。

《中国科学报》:你如何定义“科研价值”?

在应用转化上,你们取得了哪些成绩?

徐现刚:对于我们学科来说,科研价值在于“从实验室走向生产线”。目前,我们转让了近 20 项碳化硅专利,支撑孵化出碳化硅业内唯一上市公司天岳先进及南沙晶圆等高新技术企业,推动我国碳化硅衬底产能跃居全球前列;培养了大批产业界人才,为我国碳化硅产业的发展奠定了人才基础。

国家某权威内刊高度评价:“几乎碳化硅半绝缘衬底领先企业的先导技术及领军人才都具有‘山大基因’。”

随着我国碳化硅企业的崛起,曾经全球碳化硅领域市占率超 60% 的美国“霸主”企业 Wolfspeed 市场占有率大幅降低。我国碳化硅企业实现了从“替代者”到“规则制定者”的跨越。

科研接力 不忘初心

《中国科学报》:蒋民华一直强调“育晶育人”。在你看来,如何培养接力人才?

徐现刚:“育晶”与“育人”是同步的。我一直对学生说,一名科研工作者要有“三颗心”——家国情、钻研心、通融心。

第一是家国情。一个人做科研,心里得装着国家、装着人民。我们现在做的很多工作都是在为国家解决“卡脖子”难题。只有把个人理想和国家需求对上号,科研这条路才能走得稳、走得远。

第二是钻研心。我们这个领域真的很苦。有时候一连几个月做不出一块好晶体,得反复调炉温、调参数、调原料,不下十几次失败,还得一次次熬夜复盘。因此必须有钻研的决心与毅力。

第三是通融心。科研不是一个关起门来搞发明,而是要有系统视野、交叉思维,懂晶体也要懂材料、化学、物理、芯片工艺,甚至要知道终端用户怎么用。这就要求在心态上能融得进团队、在知识上能横向打通。我特别强调培养学生的协作精神和系统意识,学会换位思考,懂得包容和鼓励。

《中国科学报》:未来你们的科研目标是什么?

徐现刚:我们的目标很明确——让中国的晶体研究持续“领跑”,让中国的宽禁带半导体研究从“跟跑”到“并跑”再到“领跑”,最终成为世界关键晶体材料的策源地。这是历史性任务,不可能一蹴而就,也不可能靠一代人完成。我们必须培养一代又一代接棒人,把关键核心技术牢牢掌握在自己手里。正如当年蒋先生培养了我们,现在我们需要培养新一代年轻人继续这份事业。

《中国科学报》:今年是蒋民华院士诞辰九十周年。你希望今天的青年科研工作者汲取哪些精神?

徐现刚:蒋先生是我们的引路人,留下的不只方法和技术,更是精神。今天的青年科研工作者尤其要从前辈身上汲取三点力量:

一是看得远。做科研不能只追逐热点,要有瞄准国家长远需求的战略眼光。今天你做的工作也许看不到效益,但数十年后,它可能就是国家关键装备的底层支撑。

二是沉得住。科研不能浮在纸面上,要能“十年磨一剑”。在晶体材料领域,可能是“数十年磨一晶”。

三是抱团干。晶体材料是多学科交叉、系统性极强的研究方向。要靠团队协作,靠平台支撑,靠跨单位、跨系统的协同攻关。这种“有组织科研”的能力,正是我国优势所在,也是我们实验室 40 年积累的重要经验。

要像蒋先生那样,使科学研究服务于国家重大需求。“为国家解难题,为民族打基础”,这是我们永恒不变的初心。真正的科学家,要把个人理想铸进国家重大需求,用科技自立自强的担当书写属于祖国的答卷。