



视觉中国供图

摸清老化机理，找到年轻化新机制

# 科学家让玻璃“返老还童”

◎ 实习记者 李诏宇 都 芑

从高耸入云的摩天大楼，到小巧精致的计时腕表，玻璃的身影在生活中处处可见。

全国两会召开前，全国人大代表、中国工程院院士、中国建材集团总工程师、中建材玻璃新材料研究总院院长彭寿接受记者采访时说，要大力推动玻璃工业节能降碳，让中国的玻璃行业“向绿而行”。

事实上，玻璃不仅要“向绿而行”，也有望“返老还童”——随着服役时间增加，玻璃会产生老化现象，并通常伴随着物理、力学等性能的劣化。如何使老化的玻璃态物质“返老还童”，恢复性能，近年来得到科学界越来越多的关注。

2022年底，中国科学院力学研究所研究员蒋敏强团队通过研究，揭示了严重老化的金属玻璃的年轻化新机制，加深了对玻璃结构年轻化的理解，相关研究成果发表在由国家自然科学基金委员会主管、主办的多学科英文期刊《基础研究》(Fundamental Research)。

## 玻璃老化：从无序向有序缓慢转变

要让玻璃“返老还童”，首先要理解玻璃是如何“变老”的。

蒋敏强介绍，从微观上看，玻璃是一种无规则结构的非晶态固体。他给记者举了一个例子：在钢铁等晶态固体中，原子如同安静地坐在教室里上课的学生，排列井然有序，呈现出规则形态。而在玻璃这一无规则结构的非晶态固体中，原子就好比下课后的学生一样，在校园里四处乱跑，排列上呈现出无序状态。

玻璃老化这一现象，从本质上讲是玻璃从初始形成时的无序状态，向有序状态的转变。“一般来说，无序状态下物质的总能量较高，而在有序状态下，物质的总能量较低。随着时间的推进，玻璃会逐渐从高能状态向低能状态转变，这个过程一般被称为玻璃老化。”蒋敏强解释，如果老化时间足够长，或者通过升温加速老化，玻璃甚至可以转变为具有规则结构的固态晶体。

玻璃老化会影响玻璃的韧性、光学性质、导电性能等许多属性，是人们想要极力延缓甚至避免的一种现象。因此，作为逆转玻璃老化的过程，玻璃年轻化长期以来受到科研人员的广泛关注。

“玻璃年轻化即玻璃老化的反过程，也就是让老化后原子变得相对有序的玻璃慢慢重新回归原子相对无序的

状态。”蒋敏强说。在此前关于玻璃年轻化的研究中，研究人员发现，年轻化的玻璃在被加热到一定温度时会释放出部分热焓，且玻璃的年轻化程度越高，在加热中释放的热焓就越多。热焓是表征物质系统能量的一个重要状态参量。通俗地说，热焓是年轻化的玻璃在加热过程中释放出的能量。

“我们的研究认为，上述观点并不适用于严重老化的玻璃。严重老化的玻璃随着年轻化程度的提高，其热焓的放出并无变化，甚至完全没有热焓放出。”蒋敏强团队的研究表明，此前关于玻璃老化机制的观点并不适用于严重老化的玻璃，更新了人们对玻璃结构年轻化机制的理解。

## “无心插柳”：研究成果出人意料

“其实此次研究的突破，源于我们研究团队一次‘无心插柳’的尝试。”蒋敏强说，此次实验的最初目的只是制备实验样品。“我们团队原本是为了做另一个实验而制备样品。为了加强实验的科学性，需要消除样品的热历史，保证它们结构一致。我们对玻璃样品进行低温退火操作——将金属玻璃缓慢加热到一定温度并保持足够时间，然后以一定速度冷却到室温。”随后，研究团队通过力学变形对这批处于严重老化状态的玻璃进行年轻化处理。结果出人意料——“我们明明通过力学做功向玻璃输入了能量，为何这些玻璃没有释放出热焓，变得年轻化呢？”这与此前的主流观点可谓是背道而驰。

这个结果让研究团队陷入疑惑。为了解开谜团，除了测量热焓之外，研究团队还测量了玻璃样品的高温(450K—750K)和低温(1.9K—100K)比热，进而考察玻璃的原子振动信息和拓扑结构信息。“在实验过程中，研究团队发现，尽管在一些情况下玻璃态转变前的热焓释放这一参数保持不变，但玻璃态转变过程中的有效热焓变化以及低温比热所体现出的原子振动玻色峰这两个物理量却会随之改变。”蒋敏强进一步解释，“这表明，热焓释放并非唯一反映玻璃年轻化的物理量。”

谈及热焓释放为何保持不变时，蒋敏强再次用生动的例子解释：“如果我们将一个小球放在‘凹’字形平面的凹处，这个小球自然会保持原地静止。这种稳定的状态就好比严重老化的玻璃。而假如我们把这个‘凹’字形平面倾斜一些角度，虽然凹处的高度，也就是玻璃态物质的能量水平几乎保持不变，但小球所代表的玻璃状态会变得不稳定，进而出现了玻璃年轻化现象。”

研究结果表明，除了此前的主流观点指出的，玻璃

年轻化可以直接体现在热焓的释放，也就是能量水平的提高上，还可以体现为能量面的倾斜，也就是通过局域结构重排使自由体积在空间内重新分布。“这也就是我们发现的严重老化的玻璃态物质年轻化新机制。”蒋敏强表示。

## 拓展场景：提供广阔应用空间

此次研究还发现，随着玻璃进入稳定流动状态，上述表征年轻化的三个物理参数都会各自趋于饱和值，从而首次在实验上确定玻璃结构年轻化的上限是“冻结”的稳定流动状态。

如果用水来类比，在高温中形成液体的玻璃就好比水，而低温固体化的玻璃则好比冰。“玻璃结构年轻化的极限，就是通过极速降温使高温玻璃液体突然冻结，从而形成类似‘冻住的流水’的物质状态。”蒋敏强解释，“在这种情况下，玻璃会在固态外表下，保持与液体状态几乎相同的物质结构，其流动性会达到目前认识中的极限。”

此次研究揭示的玻璃态物质年轻化新机制，除了让我们更好地从物理本质上理解玻璃老化的相关成因、过程之外，在推动老化玻璃批量返新方面，也有着巨大的潜在应用空间。“研究团队目前正在与从事玻璃生产或研发的企业交流，力图寻找推动技术走向市场的良好结合点。”

除此之外，蒋敏强还发现，此次研究揭示的新机制也有望应用在制备先进金属材料上。

“通常来说，金属材料的强度与韧性二者不可得兼。随着强度的提升，韧性就会降低，反之亦然。”蒋敏强表示，“如何克服这一固有的倒置关系，是制备兼具强度与韧性的先进金属材料必须面对的问题。”

高强度的金属材料，其微观层面上的总能量水平一般是非常低的。如果通过加热等方法输入能量，尝试通过提高总能量水平来提升金属材料的韧性，往往需要极高的能量投入，而这几乎不可能达成。

“假如我们能利用此次研究发现的新机制，在总能量水平较低时调整金属材料的能量面角度，就能在保持宏观上强度不变的前提下，提升原子的无序性，从而增强金属材料的韧性。通过这种方法，我们可以有效避免巨额的能量输入，极大地降低高强度金属材料制备的成本。”蒋敏强表示，目前他的团队正在持续进行尝试，力争取得决定性的突破，为解决长期以来金属材料强度与韧性之间不可调和的矛盾提供新思路。

## 通过解析4000多份遗传资源，科学家发现——

# 11000年前葡萄就已经被驯化

◎ 本报记者 赵汉斌

作为水果和酿酒原料，葡萄始终与人类文明相伴而行。但葡萄何时起源、驯化以及如何传播，一直是困扰世界科学家的问题。

近年来，云南农业大学在葡萄栽培技术、病虫害防治、遗传资源等研究领域聚焦攻关，再次取得重大突破，相关研究成果以《葡萄演化中的双重驯化和性状起源》为题，发表在3月3日的《科学》期刊上。这是联合了17个国家的78位科学家开展的大型国际合作项目，云南农业大学教授董扬等为第一作者，云南农业大学副教授陈玮、教授盛军等为通讯作者；此外，云南农业大学博士朱怡凡等年轻科学家也参与其中。

该期《科学》还同步刊发了题为《葡萄的两次驯化》的评论文章，对这项研究进行了介绍，并给予高度评价。

## 葡萄改良呼唤大规模基因组遗传变异数据

“葡萄是一种重要的水果，是全球综合产值最大的经济作物之一，具有重要的经济、社会和文化价值，研究历史悠

久。”董扬向科技日报记者介绍，葡萄属植物还有约60种可生育的野生种。在世界温带地区的原生栖息地，野生葡萄品种在北美约有28种，在东亚约有30种。尽管葡萄栽培在人类历史中具有重要的文化内涵和经济价值，但大规模基因组遗传变异数据缺乏，导致无法解析其驯化传播历史，也严重阻碍了葡萄的性状改良。

学术界在葡萄的起源问题上一直存在争议，2019年董扬团队提出泛黑海起源理论，并且推测栽培葡萄起源时间约为7500年前，并发现了多个葡萄优良性状的控制基因。相关成果引起了国外葡萄研究者的强烈兴趣。

“在云南省科技厅、云南农业大学、云南生物资源保护与利用国家重点实验室、云南省生物大数据重点实验室支持下，云南农业大学联合全球多个国家的70多位科学家，展开了共同攻关研究。”盛军介绍，在董扬团队牵头下，研究人员迅速汇集全球约5000份葡萄遗传资源，在疫情期间坚持工作，完成了迄今为止植物领域最大的基因组分析工作，绘制了栽培葡萄野生种的参考基因组，解析了4000多份葡萄遗传资源的基因组多样性信息，开发了大量的数据分析方法。

“经过3年时间，研究团队全面解析了

葡萄的起源、驯化和传播问题，厘清了学术界的多个争议，形成了葡萄起源和迁徙的一致观点，改写了葡萄研究的教科书，构建了可供葡萄育种的基因组、表型大数据体系，研究贯穿了葡萄人工选育—改良的整个过程。”陈玮说。

## 跨国研究解决了一系列重要科学问题

“研究中，我们解决了一系列重要科学问题。”董扬说，“我们首先阐明了栽培葡萄起源的时间大约在11000年前，表明葡萄是世界上最早被驯化的水果；同时，揭示栽培葡萄驯化中心有两个，为‘双起源中心’模式，纠正了学界以前的‘单起源中心’理论。研究还证明酿酒葡萄和鲜食葡萄在不同区域同时起源，且起源初期遗传背景具有显著差异，解决了学术界在鲜食葡萄和酿酒葡萄起源问题上长达数百年的争议。”

此外，研究团队还构建了覆盖所有栽培葡萄遗传资源的高精度亲缘关系谱系图，为葡萄品种的分子设计和精准育种提供了科学依据；发现了大量的葡萄人工驯化性状控制基因，找到了酿酒葡萄和鲜食葡萄人工驯化的特征基因，为葡萄功能基因组学研究和育种提供了遗传素材；结合

人类活动、历史气候变迁等因素，绘制了葡萄起源和人工驯化、改良的全景图。

此前，盛军和董扬教授团队通过分析472个葡萄资源，绘制了48个葡萄属物种的进化图谱，解析了葡萄历史种群大小变化的特征。研究论文于2019年发表在《自然·通讯》；随后，研究团队构建了全球首个葡萄多组学综合数据库，这也是我国首个葡萄遗传资源的原创性数据库，为这种“一带一路”典型作物的协同研究提供了重要工具，相关研究论文于2020年发表在《分子植物》。

“葡萄是重要的经济作物，同时也是东西方文化融合发展的象征。通过国际化联合攻关，该研究为开展‘一带一路’沿线国际科学研究合作提供了案例，也为我国生物多样性研究提供了新的范本。”董扬说。

基于这些数据，云南农业大学葡萄研究团队正推进后续工作，通过泛基因组技术对葡萄的经济性状控制基因进行全面解析；通过进化与功能组学，挖掘葡萄重要经济性状控制的优势基因；通过古DNA测序技术，深挖葡萄在驯化后改良、传播扩散的问题；通过开发葡萄育种芯片和建立葡萄基因组，助力育种技术创新等工作，并形成一系列重要科研成果。

## 新知

# 吃鱼对健康有益 这个生活常识有了科学依据

◎ 洪恒飞 柯溢能 吴雅兰 本报记者 江 耘

“多吃点鱼，能变聪明！”家长劝菜时的这个常见说法，有了新的科学解释。

3月3日，国际期刊《科学》在线发表了浙江大学医学院、良渚实验室教授张岩团队与山东大学教授孙金鹏、冯庆庆和于晓团队的合作成果论文。联合研究团队从原子层面解析鱼油中的Omega-3脂肪酸，揭示其促进人体代谢等功效的作用机理，发现人体中处理Omega-3脂肪酸信号的“受体编译器”，能够编译不同双键修饰的不饱和脂肪酸信息，产生特定的下游信号。

## 脂肪酸效果触发如同开“盲盒”

脂肪酸分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸，后者又根据所含双键的不同分为单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸。人体无法合成的Omega-3脂肪酸就是一种多不饱和脂肪酸。

已有研究表明，人体服用适量Omega-3脂肪酸，具有健脑强筋、调节血压、减少炎症甚至降脂等功效。但Omega-3脂肪酸进入人体后，要想发挥作用，必须找到一个帮手——Omega-3鱼油受体。

张岩说，通俗地讲，这就好比角色进入游戏界面，需要先找到NPC(非玩家角色)激活剧情，然后在NPC帮助下，控制多种道具、资源，最终完成任务。

Omega-3鱼油受体属于人体中最庞大的膜蛋白家族——G蛋白偶联受体(GPCR)家族，具有提升胰岛素敏感性、控制脂肪生成等多种作用，可以识别Omega-3脂肪酸在内的多种饱和与不饱和和长链脂肪酸。

“Omega-3鱼油受体被激活后，可以与多种下游效应物偶联，包括多种G蛋白和β阻遏蛋白等，再引发相应的细胞响应和生理作用。”张岩介绍，不同的脂肪酸激活Omega-3鱼油受体的效果并不相同，如同开一个“盲盒”，只有某些不饱和脂肪酸是对人体有益的。

由于GPCR信号传导复合物结构非常不稳定，而且长链脂肪酸分子非常相似，长久以来很难被辨别、捕捉，科学家们一直试图厘清不同脂肪酸触发不同激活效应的原理。

张岩团队长期专注细胞跨膜信号传导的机制研究和精准调控手段设计，此前曾在国际首次获得了GPCR信号传导复合物的高分辨率冷冻电镜三维结构，可从原子层面解析生命接收信息、处理信息和编译信息的过程，而这正是本次研究的技术支撑之一。

此次，联合团队以Omega-3鱼油受体识别不同双键修饰的不饱和脂肪酸，及其与Omega-3鱼油受体偏向性信号的联系，作为研究的切入点。

## 信号传导过程中有项特殊指令

Omega-3鱼油受体如何识别不同的饱和、不饱和脂肪酸及其合成化合物？哺乳动物是否有一个既定的系统识别这些双键修饰？脂肪酸中，单键和双键的区别细微，如何精细调控受体蛋白，并将其转化为特定的生物信号传导？

通过良渚实验室的冷冻电镜设施，研究人员成功从原子分辨率水平解析了4种不同类型的脂肪酸和人工合成激动剂TUG891，分别刺激Omega-3鱼油受体，形成信号传导复合物的精细三维结构，发现不同双键修饰的不饱和脂肪酸都能激活Omega-3鱼油受体。

张岩解释，导致不同结果的奥秘在于，不同脂肪酸的单键和多键就像不同钥匙的齿纹，激活Omega-3鱼油受体后，在锁芯中的打开方式不同。“虽然打开的是同一把锁，但走进的却是不同的世界。”

此外，研究人员发现不同的不饱和脂肪酸的双键排布组合，与Omega-3鱼油受体中芳基氨基酸的特定组合会产生相互作用，或者与其他氨基酸产生特定疏水作用，这对确定下游信号传导图谱等起到了重要作用。

该论文第一作者、浙江大学邵逸夫医院博士毛春友说：“Omega-3鱼油受体响应不同实验对象的信号刺激时，可以介导多种下游效应G蛋白的信号通路，而不同G蛋白在介导受体下游的不同功能中起关键作用。”

经过上下层层传导，由于每个信号的编译处理不同，每个环节接收到不同的信号便会发出不同的指令。研究团队通过功能性实验，证明了Omega-3脂肪酸之所以对人体有益，是因为它激活Omega-3鱼油受体后，增加了一条偶联Gs蛋白的指令，让原本可能朝其他方向走下去的信号通往有益于代谢的道路。通过结构分析、分子动力学模拟和突变筛选，团队进一步揭示了配体结合口袋与不同效应G蛋白募集的传递路径。

张岩表示，这项研究详细介绍了Omega-3鱼油受体识别不同双键修饰的不饱和脂肪酸的模式，揭示了不同脂肪酸引发Omega-3鱼油受体产生下游特定信号图谱的机制，未来有助于开发出性能更优的鱼油分子产品，满足现代保健的需求。

## 专用型油菜问世

# 可用于土壤重金属污染修复

科技日报讯(记者史俊斌)土壤重金属污染造成的食品重金属超标严重威胁着人类健康。农田土壤重金属污染修复已经成为农业绿色、可持续发展面临的重要课题。记者3月17日从陕西省科技厅获悉，西北农林科技大学、陕西省杂交油菜研究中心和广东开源环境科技有限责任公司合作，利用基因技术创新研制出一种可用于土壤重金属污染修复的专用型油菜。该油菜对土壤中多种重金属具有很强的吸附能力，为国内重金属污染土壤的修复提供了新的解决方案。此项研究成果论文近日在国际期刊《危险材料杂志》发表。

据悉，传统的土壤重金属污染修复主要依靠化学修复手段，通过修复剂与土壤里的重金属形成农作物不易吸收的螯合物，降低农作物对重金属的吸附率。但是，利用这种方法修复的土壤长时间被雨水淋溶后，又会释放重金属，再次形成污染。而用“植株高吸附—秸秆发电—灰渣重金属提取”途径进行修复，是解决土壤重金属污染的绿色、有效手段。

据介绍，这种专用型油菜培育成功后，将种植在矿区等地，主要用于吸附土壤中的重金属。其菜秆可用于生产工业用油，秸秆用于发电，重金属可以从秸秆燃烧的灰渣中提取出来，整个过程绿色、可循环。