

## 探索塑料废弃物资源化利用新思路—— 吃塑料，吐肥料

■ 本报记者 谢甜泉

在温州肯恩大学的实验室里，一个种有银叶菊的盆栽装置引人注目：装置中间层放置着黄粉虫或大麦虫，以及塑料泡沫。虫子啃食泡沫后排出的粪便，会自然掉落于植物根系上，成为植物的天然肥料。

这一装置的诞生，源自温州肯恩大学与浙江省农业科学院亚热带作物研究所的一项共同发现：黄粉虫和大麦虫在取食塑料后，其虫粪中富集了四大类植物激素——生长素、细胞分裂素、茉莉酸类和水杨酸类物质。

近日，该成果内容发表在了国际期刊《植物激素》上，证明了昆虫在取食塑料后，其虫粪中植物激素含量显著提升，可作为土壤改良剂或有机肥料，实现“塑料垃圾农业资源”的绿色转化。这一发现为塑料废弃物的资源化利用，提供了一条解决思路。

### 虫粪变养料，害虫有益处

外卖盒、奶茶杯、包装袋、泡沫箱……这些大部分由聚苯乙烯(PS)或聚乙烯(PE)构成的塑料制品方便了我们的日常生活，却给地球留下了一道环境难题。全球每年有数亿吨塑料因难以回收利用而进入填埋场或自然环境，自然降解需要上百年，不仅侵占土地，还威胁农业与生态安全。

与此同时，在农业世界里，黄粉虫和大麦虫曾经只有一个身份：害虫。它们啃食谷物、骚扰粮仓，农民见了头疼。但在温州肯恩大学的实验室里，遇上塑料的它们竟然成了宝贝。

这项研究的起点，源于温州肯恩大学颜庆应教授的一个追问。早年，科学界已有研究证实黄粉虫、大麦虫等昆虫幼虫能够取食并降解聚苯乙烯、聚乙烯等塑料，但绝大多数研究停留在“昆虫能不能吃掉塑料”这一层面。“我们换了一个角度，追问的是昆虫吃下塑料之后，虫粪还能不能成为有价值的农业资源。”颜庆应说道。

一次偶然的发现，颜庆应把虫子带回家中饲养，并用虫子啃食塑料排出的虫粪作为土壤基质，扦插了几株火龙果。他发现，与没有加入虫粪的火龙果相比，前者根系异常发达，不仅向下生长的根更长，连茎节侧面也长出了大量侧根。“虫粪里应该有一些和激素有关的东西。”这一发现让颜庆应颇为兴奋。

为了进一步验证猜想，颜庆应联系上了常年与植物打交道的浙江省农业科学院亚热带作物研究所寻求合作。2024年，双方一拍即合组建了跨界研究团队，借助省农科院先进的植物检测平



邱智敏(左)与颜庆应(右)专注于虫粪研究。

本报记者 谢甜泉 摄

台展开系统研究。

团队以黄粉虫和大麦虫的晚龄幼虫为研究对象，分别设置了麦麸对照组、聚苯乙烯/低密度聚乙烯与麦麸混合组饲喂。幼虫在上述条件下饲养28天后，研究人员分别收集各组虫粪样本，并借助超高效液相色谱-串联质谱等技术，对虫粪中的植物激素及相关化学成分进行定量分析。

检测结果令人振奋。与麦麸对照组相比，塑料相关饲喂处理后的虫粪中可检测到生长素、细胞分裂素、茉莉酸类和水杨酸类等四类植物激素。其中一种名

为吲哚-3-乙酸(IAA)的重要生长素，在部分塑料饲喂处理组的虫粪中达到了仅喂食麦麸对照组的5倍。

现场对比实验照片清晰地展示了效果：一株用普通水浇灌的植物长势平平，另一株使用市售普通肥料的植物有所改善，而使用了塑料饲喂大麦虫虫粪提取液处理的植物，生长态势明显优于前两者。

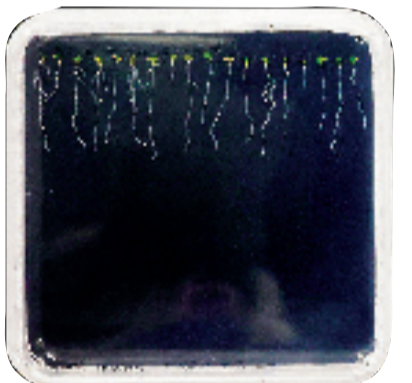
更重要的是，塑料饲喂幼虫排泄物中未检测出苯乙烯单体或常见塑料添加剂等目标有害残留。“初步表明，这种富含激素的虫粪作为土壤改良剂是具有应



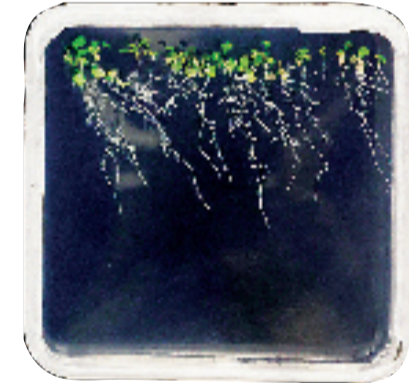
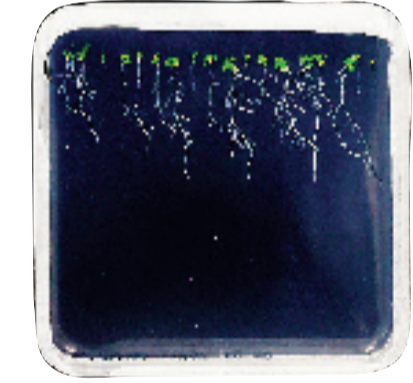
黄粉虫。

图源视觉中国

用潜力的。”论文共同第一作者、浙江省农业科学院亚热带作物研究所助理研究员徐婉表示，把无法回收的塑料通过昆虫“升级回收”转化为高附加值的有机肥料，可以为循环经济提供一种全新且环保的解决方案。



植物在施肥前后的实验对比：未处理对照(左)、饲喂麦麸大麦虫虫粪提取液处理(中)、饲喂麦麸和泡沫塑料大麦虫虫粪提取液处理(右)。



受访者供图

### 一首曲子，让效率提升七倍

黄粉虫和大麦虫本是人类储藏物的“天敌”，却在无意中成了塑料污染的“克星”，排出的虫粪还能够显著促进植物生长，且未检出有毒残留。这种惊喜正是大自然送给人类的一份礼物。

然而，一个现实的问题很快给团队泼了一盆冷水。自然界中，这些虫子吃塑料的速度非常缓慢。如果什么都不做，一吨虫子吃掉一吨塑料，需要将近3年时间。“如果想用这种方式消灭一座城市每天的垃圾，那恐怕需要建无数个高楼去养几万吨的虫子。”颜庆应表示，这种低效显然无法规模化。

如果想让虫子真正发挥清道夫的功能，加快它们的“吃饭速度”就成了亟待解决的问题。

有着多学科交叉背景的颜庆应，想到可以把心理学用在养虫子上面。此前他曾研究过背景音乐如何影响人的餐饮情绪，后来他突发奇想——为什么不给虫子也放首曲子听？

在此前围绕昆虫塑料取食效率开展的相关研究中，颜庆应团队设计了一系列实验，在饲养环境中播放不同类型的音乐，观察黄粉虫和大麦虫的取食行为变化。结果令人惊讶：在快节奏音乐的环境中，这群虫子变得异常兴奋，取食塑料的活跃度大幅提升，塑料降解的速度最高能提升至自然速度的六七倍。如果再配合喂食蔗糖等物质，速度甚至可以提升接近8倍。

“原本要3年才能被虫子‘吃完’的塑料，现在在约6个月就能搞定。”参与项目研究的浙江省农业科学院亚热带作物研究所助理研究员邱智敏解释说，这意味着，原本需要近1000天的降解周期，有望被缩短到数百天。这种速度的提升，让“虫子处理塑料”从实验室里的慢速演示向可能的应用迈进了一大步。

为什么音乐和糖会有这样的效果？颜庆应分析认为，快节奏音乐可能通过振动频率刺激了昆虫的神经系统，使其处于更高的活动状态，从而增加了取食频率和消化代谢速度。而蔗糖作为易获取的能量来源，为昆虫提供了额外的“体力支持”，使它们能够更高效地分解那些难以消化的塑料高分子。“啃食塑料生出的二代虫子，效率也许能进一步提高。”在交流中，颜庆应还抛出了另一个等待论证的想法。

值得注意的是，这种方法完全依靠声音的物理刺激和简单的糖类营养补充，不涉及任何基因改造，也为未来的技术规模化应用提供了一条安全、易于推广的途径。音乐和糖这两样看似与塑料毫不相

关的东西，意外地为塑料污染治理打开了一扇新的大门。一只虫子、一首曲子、一点糖，或许就能让“变废为宝”的未来更近一步。

### 不同作物，配不同“虫肥”

以塑料为食的黄粉虫和大麦虫，其虫粪富集的生长素、细胞分裂素、茉莉酸类和水杨酸类等四大类激素各有“神通”——生长素促进根系发育，细胞分裂素调控植株生长，茉莉酸类和水杨酸类则与植物抗虫抗病、应对干旱或低温等恶劣环境密切相关。每一种都在农业生产中发挥着不可替代的作用。

那么问题来了：不同植物、不同农作物所需要的激素各不相同，我们能否通过改变虫子的“食谱”，来刺激某一种特定激素的过量产生，从而实现“靶向施肥”？

研究团队的实验数据展示了这种可能性。比如，以聚乙烯为食的黄粉虫，其排泄物中的茉莉酸类物质水平显著增加，可达到仅喂食麦麸对照组的数十倍。茉莉酸类物质明确能够提升植物的抗虫能力。这意味着如果种植的作物容易遭受病虫害，那么黄粉虫搭配“聚乙烯+麦麸”食谱产出的虫粪肥料能为植物提供额外的“免疫支持”。

虫子的定制化“食谱”能不能为不同作物提供恰到好处营养支持？对此，团队还提出一个设想：可以通过精细调试不同的昆虫种类和塑料源，让虫子解决“塑料垃圾”的同时，还能排出促进蔬菜、瓜果、花卉长成高品质农产品的优质有机肥。比如，要促进根茎类的马铃薯、胡萝卜等作物，可以筛选出取食特定塑料的大麦虫排泄物进行专攻。

尽管前景诱人，研究团队始终保持审慎的学术态度。“目前这项成果仍处于机制发现和应用探索的早期阶段。”邱智敏介绍，接下来，团队将持续探索塑料来源虫粪对作物生长、抗逆性的实际效果，对土壤微生物群落产生的影响，以及在田间应用中的安全性与稳定性等问题展开深入研究。

谈及未来，颜庆应表示，团队还将针对温州不同植物品种开展试验，同时探索更深层次的机理研究。“我们要弄清楚到底是哪个菌、哪个酶在起作用，也想把进食速度提升到更高。同时继续优化虫子降解速率，挖掘更多适配的塑料类型，并借助温州丰富的植物资源，筛选最适合该虫粪肥料的作物品类。”

一边是塑料垃圾的终点，一边是绿色农业的起点——这条化害为利、变废为宝的道路，前景广阔，值得期待。

## “冻龄”的理论基础在这里

中国科研团队首次构建出可量化、可模拟、可干预的“衰老数字人体”框架

■ 本报记者 梅玲玲 叶晓倩  
通讯员 徐莉

当我们对着镜子捕捉眼角悄悄爬上的细纹，爬两层楼梯就忍不住靠着扶手喘气，又或是翻遍口袋也记不起钥匙放在哪里……这些琐碎的日常里，藏着许多人的疑问：我们到底“老”到什么程度了？衰老有没有章法可循？能不能提前踩踩刹车，让时光走得慢一点？眼下，这些千百年来疑问有了全新答案。

近日，衢州市人民医院联合中国科学院北京基因组研究所、国家生物信息中心等多家单位组成的科研团队，首次构建出可量化、可模拟、可干预的“衰老数字人体”框架，用多模态、多层次的“衰老时钟”体系，让衰老变得可精准计算，为健康老龄化开辟了全新路径。这一成果近日在国际期刊《细胞》发表。

### 从“猜年龄”到“算年龄”

生活中，人们常会疑问：明明是相同年纪，为什么有的人看起来年轻有活力，有的人却早早显老？

“长久以来，衰老研究绕不开的核心障碍，是我们主要通过外貌特征感受衰老，却很难精准度量。”论文共同通讯作者、衢州市人民医院中心实验室主任张峰举例道：两个同样50岁的人，可能一个身轻体健，身体机能不输三四十岁，另一个早已被慢性病魔缠身——可见“日历年龄”并不等于

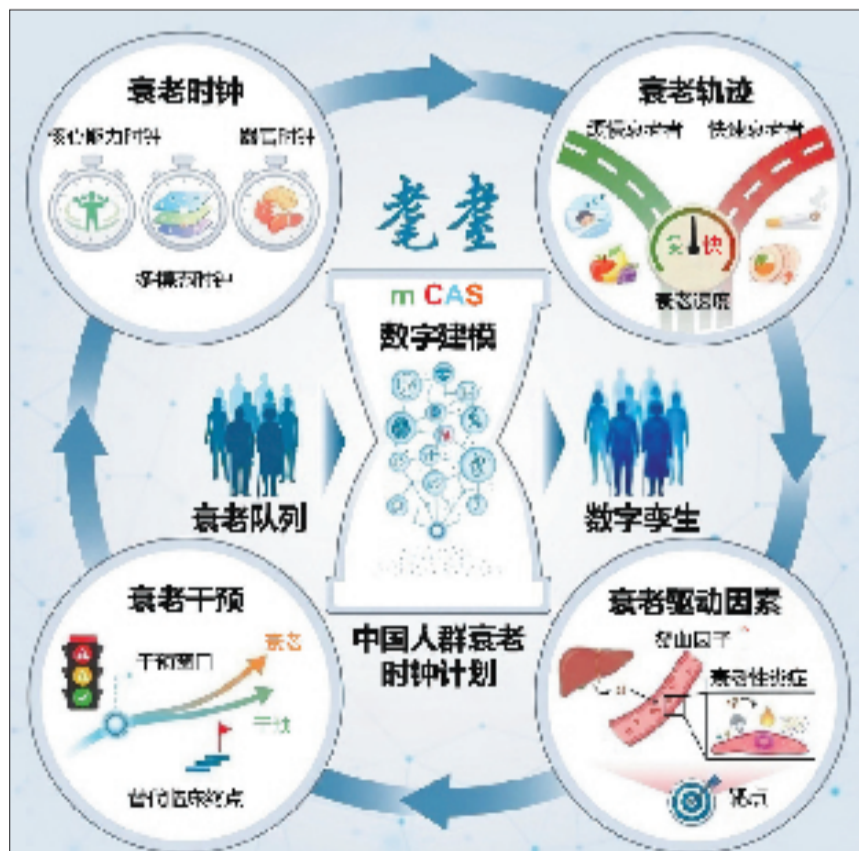
“生物学年龄”。过去研究多停留在描述层面，仅找到部分衰老相关标记，常常分不清因果，更管不出“哪个器官先老、为什么老、怎么干预”这些核心问题。

根据当地长寿老人占比高、人口流动相对较少的特点，衢州市政府将衰老研究定为特色方向，在2020年正式启动研究项目。研究团队在北京、宁波、衢州、南昌4个城市招募了2019年18至91岁健康志愿者，其中超过一半人群样本来自衢州。研究为志愿者完成全维度数据采集：采集了240余项临床生理参数，并检测了6个组学维度的分子特征，累计得到超10亿个高质量数据点，为构建“衰老时钟”打下了坚实的数据基础。

在此之上，团队构建出三层递进、功能互补的“衰老时钟”体系：第一层“核心能力时钟”整合全部生理指标，反映整体衰老程度；第二层“多模态时钟”融合多组学数据，预测生物学年龄的误差压缩至3.87年，精度远超传统单一时钟；第三层“器官特异性时钟”用无创活检，独立计算6个器官的生物学年龄，首次定量绘制出同一人体内不同器官的衰老异步性图谱。

### 寻找驱动衰老的“隐形凶手”

精准度量衰老只是第一步。一个人的身体整体上老得有多快？哪个器官在率先“掉队”？是什么在驱动这种异步老化？在论文共同通讯作者、中国科学院动物研究所研究员刘光慧看来，只有回



多模态、多层次的“衰老时钟”体系示意图。

受访者供图

答了这3个问题，衰老延缓才有可能从模糊的概念转变为可操作、可追踪的临床指标。

研究团队通过“器官特异性时钟”计算发现，人的各个器官不会同步变老，有

的提前步入老年，有的还停在年轻状态。比如，作为人体最大的代谢解毒工厂，肝脏的衰老拐点大约在40岁，比大脑50岁衰老的拐点早了整整10年。

有时，人的行为也会影响器官衰老

速度。张峰对衢州志愿者陈先生印象尤其深刻：陈先生今年刚满50岁，烟龄超过30年，还总熬夜打牌，常规体检只查出轻度脂肪肝，看着没什么大问题。可做完完整衰老评估后，结果让人大吃一惊：他的肺脏生物学年龄竟比实际年龄老了9岁。长期吸烟、作息不规律的生活拖垮的正是肺脏。

除了器官衰老不同步，研究还抓出了两个让身体“断崖式衰老”的关键窗口：40至50岁和60至70岁。尤其是60至70岁这个阶段，不只是血压升高、骨密度下降这么简单，血液里的凝血因子恰是驱动全身衰老的“隐形凶手”。

有意思的是，好习惯真的能给衰老踩刹车。参与检测的王老师，今年68岁，退休在家，坚持每天吃完饭就去广场舞一小时广场舞，晚上10点准时睡觉，桌上永远摆着刚洗的鲜果。做完评估，她自己都笑了：整体生物学年龄才62岁，比实际年纪年轻了6岁，肝脏年龄甚至只有55岁。

“这项研究不光更好地解决了如何知道我们有多老的问题，也给普通人的抗衰老之路指明了方向。”张峰说，抗衰老也许并不需要什么复杂的手段，根据自己的衰老轨迹和特征，坚持健康的饮食和生活习惯，就能实实在在让衰老的脚步慢下来。

### 定制个性化的抗衰老指南

研发出来的“衰老数字人体”有望应

用到老百姓的日常健康管理中。

“以后你去体检，抽一管血就能拿到专属衰老报告，上面写得明明白白：肝脏比实际年龄老了几岁，血管有没有提前老化，哪个因素在推着你变老，医生还能给你量身定制干预建议。”张峰表示，让每个人都能拥有量身定制的精准抗衰老指南，是研究团队对这项技术落地最朴素的期待。而这次发表的研究，已经朝着这个未来跨出了最关键一步。

值得一提的是，本次研究从一开始就瞄准了临床应用。

团队指出了3条应用落地优势：第一，不用复杂的天价检查，验血就能做普惠性衰老评估——只要100个左右的血浆蛋白就能算出受验人的生物学年龄；第二，提前发现器官老化，在器官出问题前就找准“早衰”的部位，把健康管理的关口前移；第三，找到可以干预的靶点——比如确认了凝血因子会推动衰老——未来就能研发针对性药物延缓衰老，给新药研发指明了方向。

作为研究核心牵头单位，衢州市人民医院参与了本项目从样本收集到数据分析的全部工作。张峰说，等技术完全成熟，成本降到合理区间后，研究成果会率先落地应用到衢州市人民医院体检中心，让衢州百姓提前体验全新的衰老评估与健康管理模式。

此外，他还结合衢州本地饮食特色，开展了针对性研究，目前正探索山茶油、猴头菇等本地人日常食用的食材，探究其与人体衰老过程的潜在关联。