



视觉中国供图

微藻可通过光合作用将废气中的二氧化碳和废水中的氮、磷等转化为生物质。研究人员将微藻细胞破坏，提取细胞内的油脂、糖类等有机成分，可进一步制备出生物油、生物气等清洁燃料。

每年可固碳约900亿吨 是制备液体燃料的良好原料

微藻：“吃”下二氧化碳，“吐”出生物油

小微藻大用途②

◎本报记者 雍黎 实习生 单倩桐

二氧化碳过度排放是全球气候变暖的罪魁祸首之一，如何能减少二氧化碳？比如，能不能把它“吃掉”？还别说，小小的微藻就有这样的

“好胃口”，而且它不仅能把二氧化碳“吃掉”，还能变“碳”为“油”。

重庆大学能源与动力工程学院的低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室的黄云副教授指出，如何实现二氧化碳的有效利用已成为各国科学家重点关注的问题，而微藻这一小小的古老生物凭借变“碳”为“油”的本领，已经成为我们固碳减排的好帮手。

“这个项目为我国烟气二氧化碳减排的大规模产业化提供了经济可行的技术路线选择。”作为国家重点研发计划“煤炭清洁高效利用和新型节能技术”项目“二氧化碳烟气微藻减排技术”负责人，重庆大学能源与动力工程学院教授程军算了一笔账，煤化工厂烟气99%浓度二氧化碳捕集液化成本低于100元/吨，燃煤电厂烟气15%浓度二氧化碳提纯捕集压缩成本约为250元/吨，如果不能利用，进行封存还需要投入费用，对于企业来说，这是一笔赔钱的“买卖”，但是通过微藻固碳则可实现碳利用，创造经济价值。目前市场上，1吨食品级的藻粉可以卖到4万元，饲料级的

价格为1吨1万—2万元，通过我们的技术，如果在煤化工企业旁建起了微藻生产加工厂，吃饱了二氧化碳的微藻将变为值钱的藻粉，成为保健品、化妆品、动物饲料。

在内蒙古鄂尔多斯市鄂托克旗产业园，建设有全国最大的微藻固定二氧化碳产业示范工程，每年可以固定1万吨烟气提纯的食品级二氧化碳（指用于食品工业的二氧化碳产品），每年固碳微藻的经济产值达2亿元以上。鄂托克旗螺旋藻已经申请为国家地理标志农产品，目前该微藻固碳成果已向山东、江苏、广西、海南等地产业化推广。

小小微藻能变“碳”为“油”

小小的微藻能做到变“碳”为“油”，与微藻体内的成分有关。“微藻中富含的酯类和糖类是制备液体燃料的良好原料。”重庆大学能源与动力工程学院院长、低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室主任廖强介绍，在太阳光能的驱动下，微藻能够将二氧化碳合成为高密度密度的甘油三酯，而这些油脂分子不但能够制备生物柴油，也是提取高营养价值EPA、DHA等不饱和脂肪酸的重要原料。

“微藻的光合作用效率是目前地球生物中最高的，是陆生植物的10到50倍。”廖强说，据估计，地球上微藻每年通过光合作用固定的碳约达900亿吨，能量达1380万亿兆焦，可开发的能源约相当于全世界每年能耗的4—5倍，资源量巨大。

据了解，我国每年排放二氧化碳110亿吨左右，其中一半以上是燃煤烟气二氧化碳。在燃煤工业企业中利用微藻进行光合固碳，可以大大减少二氧化碳的排放，而且相比于传统燃煤电厂烟气减排技术，微藻固碳减排技术具有工艺设备简单、操作方便和绿色环保等优势。此外，微藻还具有群体众多、易培养且海洋、湖泊、盐碱地、沼泽等地方都可以生长等优点。

廖强表示，由于微藻兼具减少二氧化碳排放和可生产清洁能源的本领，因此它在国内外都受到了广泛关注。

不过想在自然界自由生长的微藻为工业线上的固碳“好员工”，并非易事。如何人工养殖？哪种微藻固碳的效果更好？如何提高微藻固碳效率？这些都是科学家们需要解决的难题。

微藻产“油”还需加快技术攻关

“虽然微藻固碳已经产业化，不过要微藻产油还有很长的路要走。”廖强表示，利用微藻制取生物燃料的方法主要有直接酶交换法、微生物发酵法、热解法、气化法、水热液化法等。采用热解或者气化等方法时需要对其进行充分干燥，能耗高；而直接以湿藻为原料的酶交换法，由于大量水的存在，为了萃取出油脂，需加入大量甲醇、乙醇等有机溶剂，容易造成环境的二次污染，同时还需要后期分离和油脂提质，技术和系统复杂，成本高，安全性差，难以工业化。

不过，我国对于微藻生物质能源的研究却从未止步。目前，我国在微藻生物质能源的基础研究方面拥有很强的研发力量，从微藻的高密度培养、脱水浓缩到能源转化技术等方面做了很多创新研究工作。

在重庆大学能源与动力工程学院的低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室建成的微藻光合生物固碳及多能互补生物燃料制取实验平台中，微藻可通过光合作用将废气中的二氧化碳和废水中的氮、磷等转化为生物质。研究人员将微藻细胞破坏，提取细胞内的油脂、糖类等有机成分，可进一步制备出生物油、生物气等清

洁燃料。

微藻产业还有一些独特优势，大型藻必须在海里养，但微藻在哪里都可以养，只需将海水装在玻璃缸、反应器里，只要有阳光、二氧化碳、氮磷钾，它就能不停生长；将成熟的微藻通过离心机捞出后，水可以循环再用。沙漠有充足的阳光，这是一个非常好的条件。

“如果可以用我国海洋面积的5%或者我国全部沙漠、半沙漠及盐碱地来养殖微藻，理论上能固定我国燃煤排放的70多亿吨二氧化碳，生产38亿吨生物质。”廖强说，微藻是很有潜力的生物能源，但规模和成本是制约微藻产“油”产业化的两大难题。要让微藻真正地成为生物能源，一方面还需要在研发上加大投入，以实现生物燃料制取关键技术上的突破。另一方面要把微藻能源开发及其资源化利用技术作为一项长远事业，既要高度重视前沿基础研究，又要狠抓关键技术瓶颈的突破。要充分利用微藻中的高附加值成分，如DHA、EPA和叶黄素等，即先提取其中高值的成分，用于生产保健品、化妆品、饲料，再进行能源化利用，提高产品价值。

让固碳不再是“赔本买卖”

去年12月，在深汕特别合作区的华润集团海丰电厂里，国内首个立柱式微藻光合反应器减排转化利用燃煤电厂烟气二氧化碳的工程竣工。该项目攻克了微藻减排燃煤电厂烟气二氧化碳的前沿核心技术，突破了传统跑道池占地面积大和利用二氧化碳效率低等技术瓶

颈，实现了规模化高效低成本的微藻固碳工艺路线。据测算，与传统跑道池微藻反应器相比，立柱式微藻光合反应器使每亩微藻产量和固定二氧化碳量提高了5倍，且立柱式反应器结构紧凑，光照条件优越，大大减少了微藻固碳设备的占地面积。

加速水分散发，“渴死”病原菌

植物对抗病害的机制找到了

◎本报记者 王延斌

植物和人类一样，可感知环境变化并做出应激反应，但是当面对病害时，植物是如何“察觉到”并做出反应保护自己的？其反应机制到底是什么？

近日，国际学术期刊《自然》在线发表了中美法日四国科研团队合作研究的成果，揭示了植物对抗病害的一种新的应答机理。该期刊认为，上述重要发现突破了人们以往对植物与环境之间相互影响关系的认知，对于促进生态良性循环和保障粮食安全具有重要意义。

植物靠加速水分流失抑制病原菌增殖

该研究的主导者之一、山东建筑大学副教授侯书国告诉科技日报记者：“作为地球食物供给和生态环境维护的重要因素，植物能够感知环境变化并做出应激反应，保护自身免受恶劣环境影响。因此，研究植物响应环境变化的机制非常重要。”

以往研究发现，植物叶片表面的气孔是其与环境交流的重要途径。植物的气孔一般白天开启晚上关闭，它们通过气孔吸收空气中的二氧化

碳并释放氧气和水蒸气。病菌也可以在气孔开启时通过气孔侵入植物体内，并在植物体内创造一种富含水的、赖以生存的微环境。但因科学家们的研究，他们始终没有搞清楚植物如何启动针对病原菌的抗性机制。

联合团队发现，植物体内存在一种前所未有的植物细胞因子——抗病和失水调控小植物细胞因子(SCREW)，它们在植物免疫中发挥着至关重要的调控作用。

据侯书国介绍，联合团队经过长期努力，通过分析SCREW序列结构、活性以及在植物体内的变化，了解了SCREW如何在植物细胞生理、生化反应中进行调控后，详细阐述了其调控植物抗病的机制。

他说：“SCREW像一把钥匙，植物细胞膜上被称为NUT的受体蛋白像一把锁，‘钥匙’打开‘锁’后，便开启了气孔这扇‘门’，从而加速了植物体内水的散失。通过这种让病原菌‘没水喝’的方式，限制病原菌在植物体内的增殖和进一步侵袭。”

植物细胞因子与受体蛋白携手“抗敌”

为了全面揭示SCREW如何调控植物的抗

SCREW像一把钥匙，植物细胞膜上被称为NUT的受体蛋白像一把锁，“钥匙”打开“锁”后，便开启了气孔这扇“门”，从而加速了植物体内水的散失。通过这种让病原菌“没水喝”的方式，限制其在植物体内的增殖和进一步侵袭。

性机制，科研人员分析了NUT与SCREW识别后触发的免疫反应和该免疫通路下游信号因子。他们进一步发现，NUT为植物细胞膜定位的受体激酶家族蛋白，是通过其胞外富含的亮氨酸重复序列结构域来识别SCREW的。当NUT识别SCREW后，可以与另一个被称为BAK1的受体激酶发生聚合，从而被激活。该机制可激活

胞内钙离子释放、活性氧爆发、抗病相关基因转录等免疫反应。此外，研究人员还通过遗传学手段证实了SCREW和NUT对植物抵御细菌、真菌和蚜虫起到了至关重要的作用。

同时，联合团队的科研人员还创新性地发现，NUT与SCREW可通过改变植物应激激素脱落酸信号途径来调控气孔开放。脱落酸是一种植物响应干旱、高盐等非生物胁迫的核心信号分子。脱落酸能够通过诱导植物细胞内被称为ABI的磷酸酶降解，增强下游蛋白激酶(OST1)磷酸化，从而通过调控细胞膜上的离子通道打开，诱导气孔关闭。并且在病菌感染早期阶段，植物也是通过OST1识别微生物相关分子模式，实现 η g22(一种多肽)诱导气孔关闭。该研究揭示，SCREW与NUT能够通过诱导ABI的磷酸化，抑制OST1磷酸化和离子通道打开，从而抑制 η g22和脱落酸诱导的气孔关闭。

此外，科研人员还发现，SCREW与NUT广泛存在于各种陆地植物中，这凸显了它们在调控植物响应环境胁迫中的重要地位。研究人员推测，SCREW与NUT的重要地位不仅仅局限于植物抗病性，同时还对植物调控光合和呼吸效率、蒸腾速率等发挥着重要作用。这些作用对现代农业发展和生态环境治理都具有重要意义。

我国学者发起成立植物干细胞国际组委会

科技日报讯(记者吴纯新 通讯员陈华夏)近日，记者从华中农业大学获悉，该校生命科学技术学院陈春丽教授在全球范围内首次发起成立植物干细胞国际组委会，该校将定期举办植物干细胞主题国际学术活动，包括每年度国际研讨会和每年度国际学术讲座，持续推动国内外植物干细胞研究群体沟通和交流。

据介绍，植物干细胞国际组委会将聚焦当前科学研究热点与前沿，探寻“什么控制着器官再生”“单个体细胞如何长成完整植株”等系列科研难题，跟进模式植物、粮食作物、园艺作物及药用植物干细胞最新研究进展。同时，组委会已明确2023年植物干细胞与再生国际研讨会将在沙特阿卜杜拉国王科技大学举行。

研究进展

“最毒蘑菇”的毒素这样炼成

科技日报讯(记者赵汉斌)误食毒蘑菇致人死亡的事件时有发生，但同时毒蘑菇也是重要药物和功能分子的来源。中国科学院昆明植物研究所的科研人员近期在破解鹅膏环肽毒素合成机制研究中取得重要进展，《美国国家科学院院刊》全文发表了这一成果。

“生活中，绝大部分误食中毒致死案例是由鹅膏属真菌引发的，其毒素为鹅膏环肽，但鹅膏环肽毒素并非鹅膏属真菌独有。”论文第一作者和共同通讯作者、昆明植物研究所副研究员罗宏介绍，在与鹅膏属真菌亲缘关系很远的环柄菇属和盔孢伞属蘑菇中，也能产生这类毒素。

罗宏等人研究发现了与鹅膏环肽毒素合成相关的两个新的关键基因，二者为不同的加氧酶，负责在鹅膏环肽毒素的关键位点引入氧原子。若缺少这些氧原子，毒素的活性将下降1000倍以上。这一发现将已知毒素合成基因从原来的2个增加到了4个，让人们对于鹅膏环肽毒素生物合成途径有了更深的认识。

研究团队通过建立目前全球唯一的剧毒鹅膏基因组平台，构建了鹅膏属、盔孢伞属和环柄菇属中13个剧毒物种的基因组数据库，完整解析了鹅膏环肽毒素生物合成途径在蘑菇目中的整体架构。他们发现在这3个属中，产生鹅膏环肽毒素的遗传学基础是一致的，均由相似的基因控制。

但令人吃惊的是，在进化长河中，三属蘑菇毒素合成的能力却大相径庭。在木腐生的盔孢伞属真菌中，仅有1个毒素前体基因；在土壤腐生的环柄菇属真菌中，有约10种毒素前体基因；而在菌根共生的鹅膏属真菌中，MSDIN前体基因家族显著扩张，甚至还产生了新的毒素修饰基因，可将环肽数日扩大数十倍，因此鹅膏属真菌实际产毒能力是盔孢伞属真菌和环柄菇属真菌的成千上万倍。

“可能受到不同生理和生态压力的影响，三者各自朝不同的方向进化，最终形成了迥异的命运。”罗宏说，鹅膏属真菌是其中的佼佼者，其鹅膏环肽毒素生物合成途径产生了众多创新，产毒能力大幅提升，成为了当之无愧的“最毒蘑菇”。



视觉中国供图

科学家构建高质量水稻泛基因组

科技日报讯(记者马爱平)近日，中国农业科学院作物科学研究所水稻分子设计技术与应用创新团队和上海交通大学合作，基于111份代表性水稻资源的二代和三代全基因组测序数据，构建了高质量水稻泛基因组，获得了9个水稻代表性群体的高质量参考基因组，其中包括5个无缺失水稻基因组。相关数据对深度挖掘基因组变异和优良基因，培育突破性水稻新品种提供了重要依据。相关研究成果在线发表在《基因组研究》上。

据中国农业科学院作物科学研究所研究员王文生介绍，该团队于2018年就在《自然》上发表了相关论文，对来自全球89个国家的3010份水稻进行了重测序和大数据分析，这3010份水稻代表了全球78万份核心种质，从而构建了首个完整的亚洲栽培稻泛基因组。但是此前的研究是基于二代测序技术进行数据构建的，相比而言，使用三代测序技术构建的数据质量会更高。

此次研究构建的泛基因组在原来的基础上，增加了三代测序数据，因此构建的泛基因组更准确、更连续、更完整，包含879Mb的非冗余新序列，涉及19319个新的蛋白质编码基因(2132个新基因家族)。与二代测序数据相比，三代测序数据在检测基因存在一缺失变异(PAV)时假阳性率更低，尤其是对于包含重复序列的基因。此外，研究还检测到14471个存在一缺失变异与多个农艺性状有显著关联，表明基因存在一缺失变异对水稻表型变异可能具有重要贡献。该研究获得的高质量水稻基因组、泛基因组和基因存在一缺失变异等资源，有利于促进水稻功能基因组研究，同时有助于深度挖掘基因组变异和优良基因，对培育突破性水稻新品种提供了重要依据。

该研究得到国家自然科学基金、海南崖州湾种子实验室“揭榜挂帅”项目、中国农业科学院科技创新工程和国家高层次人才支持计划等项目支持。