

如何让作物多“吃”光、更高产

——“聚焦前沿科学问题”系列报道之三

◎本报记者 宗诗涵

在日前举行的第二十六届中国科协年会上，由中国农业科学院生物技术研究所副所长、研究员路铁刚等提出，中国农学会推荐的“作物高光效的生物学基础”入选2024十大前沿科学问题。

“作物高光效是指作物的光合作用效率高。”路铁刚近日在接受科技日报记者采访时说，系统挖掘作物的高光效基因，深入解析其遗传调控机制，有利于提升作物的光能利用率，从根源上提高粮食单产，保障粮食安全。中国农业科学院生物技术研究所副所长、研究员李新海曾表示，通过提高光合作用效率来增加作物产量潜力，将开启第三次绿色革命。

提升光能利用率是高产关键

光合作用通常指绿色植物吸收光能，将二氧化碳和水转化为有机物，同时释放氧气的过程。光合作用是作物产量形成的物质基础，作物干重的90%—95%都来自光合作用，其余5%—10%则通过根系吸收的无机物质补充。

光合作用效率是评价植物利用光能能力的重要指标。中国农业科学院生物技术研究所研究员张治国介绍，它通常是指绿色植物通过光合作用制造的有机物中，含有的能量与所吸收光能的比值，是衡量作物产量和品质的重要因素。光合作用效率越高，作物产量就越高，品质也越好。

作物的光合作用效率受多种因素影响，包括作物品种、生长环境等。在光合作用中，光能利用率是一个关键指标，用以量化作物吸收的光能在整体生物量生产中的利用效率。理论上，水稻、小麦等C₃作物和玉米、高粱等C₄作物的光能利用率分别为4.6%和6.0%。然而，在自然生产条件下，由于作物叶片对光的吸收、反射、散射和热辐射损耗等因素影响，C₃和C₄作物的光能利用率只有1%—2%。如果受到逆境影响，作物的光能利用率可能会更低。例如，云南、贵州、四川地区雾大光弱，黄淮海地区阴雨寡照，华北地区夏季高温强光，东北地区低温等条件都会直接影响作物的光能利用率。

面对既定的自然资源条件，提升作物的光能利用率成为实现农作物高产的关键策略。“作物高光效的生物学基础包括结构基础、遗传基础和生理生化基础。”路铁刚说，当前学界对光合作用的生物学基础，尤其是结构基础和遗传基础的认知仍显不足。在全球人口增长和耕地资源有限的背景下，解析作物高光效的生物学基础显得尤为重要。这有助于通过遗传改良培育高光效品种，进而提高作物产量和品质，对缓解粮食安全压力具有重要意义。同时，该研究还有助于揭示作物适应环境变化的机制，从而提升作物应对气候变化的能力。

多项研究打开增产空间

在路铁刚看来，作物高光效的生物学基础是作物科学领域的重大前沿科学问题，具有长期性、基础性特点，一旦突破会给作物育种技术带来变革。



在贵州省安顺市镇宁布依族苗族自治县良田镇坝草村火龙果种植基地，工作人员捆绑固定火龙果植株，为火龙果补光增产。
新华社记者 陶亮摄

近年来，随着生物学、基因编辑、合成生物、智能设计等前沿技术的发展，作物高光效的生物学基础相关研究也取得显著进展，为提升农业生产效率开辟新路径。

光合作用的一系列生物反应过程，如光能的吸收、传递、转化、水分解、电子传递和光合磷酸化都是在光合膜上进行的。在光合膜上，蛋白复合物通过特有的分子排列和相互作用，构成高效运转的天然光合系统，从而确保光合作用的高效运行和生理调节。然而，关于光合膜在生物体内的生成与调控机制，仍存在诸多未解之谜。近期，研究人员通过解析PSI-LHCI、PSI-NDH等光合膜蛋白复合物的分子结构与功能，深入揭示了光能吸收、转化及电子传递的复杂机理，为调控和优化光合作用过程提供了坚实理论基础。

在作物高光效的调控机制方面，有研究揭示了SHR-IDD-PIN模块在高光效C₄作物叶片解剖学结构形成中的关键作用。“这一发现不仅加深了研究人员对C₄作物高光效特性的理解，也为在水稻、小麦等C₃作物中模拟C₄高光效特点提供了理论支撑。”路铁刚说。

还有研究人员设计并优化了多个新的作物高光效回路。例如，通过优化非光化学淬灭机制耗散过剩光能，在大豆等作物上成功实现了光合效率和产量的提升。

此外，一批具有广阔生产应用前景的高光效基因，如IPAI1、NAL1、D1等被成功挖掘，为通过基因工程手段培育高光效作物品种提供了可能。值得一提的是，有研究人员克隆了“智慧株型”基因lacl。该基因能使作物上部叶片紧凑、中下部叶片相对舒展，从而优化冠层结构和光分布。路铁刚说，这一发现为通过基因调

控手段优化作物冠层结构，提高光合作用效率提供了新思路和方法。

育种实践亟须理论支撑

“虽然近年来我国在作物高光效生物学基础的研究方面取得了显著进展，但仍然面临诸多挑战。”路铁刚举例说，研发团队规模有限、资金投入不足等，导致研究缺乏系统性和持续性，阻碍了研究的深入发展。

在路铁刚看来，光合作用表型鉴定的复杂性和对环境的高度敏感性，极大限制了高光效作物的大规模筛选和改良效率，因此亟须开发高效、自动化表型鉴定技术来攻克这一难题。

此外，光合作用的调控机制错综复杂，涉及众多基因与代谢途径的相互作用。“尽管已有研究人员发现部分关键基因，但这些关键基因在实际育种中的有效应用仍面临挑战。”路铁刚说，应强化多学科合作，结合基因组学、代谢组学等多方面研究，深入解析光合作用效率调控的分子机制，为高光效育种实践提供坚实理论支撑。

在谈及未来高光效育种技术发展的关键增长点时，路铁刚分析，一是要开发更精准的光合作用模型，特别是针对冠层光合作用的详细模型，以精确分析光合作用关键影响因素，进而指导高光效育种实践；二是要深入探索作物高光效的遗传调控机制，系统挖掘与解析相关基因，为高光效育种提供理论基础、基因储备与材料支撑。

人工智能技术的应用也将是关键一环。“利用人工智能技术，可以设计、优化乃至重构植物高光效回路、旁路以及优化非光化学淬灭机制等，进一步提高光合作用效率，引领育种技术革新。”路铁刚说。

新知

新型柔性相变纤维控温性能优异

科技日报讯（记者张鑫 通讯员刘汉卿）记者8月25日从中国科学院大连化学物理研究所（以下简称“大连化物所”）获悉，该所科研人员开发出一种具有固-固相变特性的本征柔性相变纤维，为新一代智能调温纤维材料的研究与发展提供了新方向。相关研究论文发表于《德国应用化学》。

相变纤维是一种纤维型相变材料，能在近似恒定的温度下吸收或释放大热，展现出不同环境下对人体温度进行调控的应用潜力。然而，目前的研究大多集中于开发基于固-液相变材料的复合相变纤维，这类材料在实际应用中存在储能密度低、耐久性差、易泄漏、柔韧性不佳等问题。

大连化物所的科研人员在前期的柔性相变储能材料的研究基础上，通过进一步调控化学交联过程并结合湿法纺丝工艺，制备出具有固-固相变特性的本征高柔性聚合物相变纤维。该纤维展现出较高的能量存储密度和可调节的相变性能，且经历2000次冷热循环后相变焓值几乎未发生变化，性能十分稳定。

此外，团队在制备过程中可原位染色制备出颜色各异的本征相变纤维，也可与棉线等其他纤维混合纺织，表现出该纤维优异的相容性和可加工性。实际人体热管理实验结果也表明，该纤维具有优异温度控制性能。

研究发现

春季成西北干旱区升温主导季节

科技日报讯（记者梁乐）记者8月25日从中国科学院新疆生态与地理研究所获悉，该所陈亚宁团队研究发现，春季成为西北干旱区升温主导季节。相关研究论文在线发表于国际地学领域期刊《Npj—气候与大气科学》。

据了解，我国西北干旱区是世界上最干旱的地区之一，也是受气候变化影响最敏感的区域之一，升温速率高于全国和全球平均水平。西北干旱区的气温变化还呈现明显季节差异。

以往研究认为，冬季升温是西北干旱区年平均气温升高的主要驱动因素，但近年来这一观点受到挑战。

陈亚宁介绍，虽然在20世纪中后期，西北干旱区冬季气温显著升高，但自20世纪90年代以来，欧亚大陆大范围出现了冬季降温趋势，这与西北干旱区的长期升温趋势似乎矛盾。更值得关注的是，近期研究表明，西北干旱区春季升温趋势愈发显著。因此，团队提出了科学假设：西北干旱区的升温主导季节可能已发生转变。

为了验证这种假设，陈亚宁团队基于西北地区气象站点和多个再分析数据集，分析1960—2020年西北干旱区升温主导季节是否发生变化，并试图确定该地区升温主导季节的驱动机制。

研究结果表明，西北干旱区升温最快的季节已从冬季转变为春季。春季升温对全年温度上升的贡献率从-5%—7%上升到58%—59%，而冬季升温的贡献率从60%—75%下降到-4%—9%。云量减少导致太阳辐射增加是春季近期升温的主要原因，而西伯利亚高压的增强则是近期冬季降温的主要驱动因素。



图为在新疆喀什地区麦盖提县N39°沙漠旅游景区拍摄的沙漠风光。
新华社记者 李安摄

新材料可延长制氢催化剂寿命

科技日报讯（记者王祝华 通讯员张松）8月27日，记者从海南大学获悉，该校海洋科学与工程学院科研人员制备出超细钌纳米线材料，这为设计高效质子交换膜电解水催化剂提供了一种可行方法。相关论文发表于国际期刊《先进功能材料》。

质子交换膜电解水（PEMWE）技术具有能量转换率高、产物氢气纯度高等优点，是一种前景广阔的制氢技术。阳极析氧反应（OER）是电化学水解过程中的一个重要环节，其效率和稳定性直接影响整个电解水制氢系统的性能。然而，由于OER的高电位和强酸性环境，催化剂易被严重腐蚀，电解槽的长期运行面临巨大挑战。

为解决这个难题，海南大学研究团队采用成本低且易于规模化生产的合成技术，制备出超细钌纳米线材料。

该材料以纳米线结构自身优良的导电性能为基础，通过掺杂钌（Ru）改变钌（Ir）的电子结构，降低催化剂的反应能垒，提高在酸性环境下的OER性能。

原位研究结果显示，在OER过程中，Ir逐渐转化为高价氧化物，而Ru价态逐渐降低，有效防止Ru在酸性介质中的过度氧化，并抑制Ru的溶解，使催化剂在酸性环境下具有更高稳定性和耐久性。

钌纳米线材料为设计高效实用的OER电催化剂提供了一种可行方法。在实际的PEMWE器件中，这种新材料性能比商用IrO₂和Pt/C催化剂高出17.6%，并可以在大电流密度下稳定运行500小时以上。

测年技术：重建10万年间水稻从野生到驯化演化史

◎本报记者 王延斌 通讯员 谢成才

采用光释光技术

作为世界三大主粮之一，水稻何时被人类采集利用？从野生到驯化的过程是怎样的？如今，科技手段的深度介入能让10万年前的水稻“说话”，为上述问题提供答案。

近日，临沂大学资源环境学院教授于禄鹏团队与中国科学院地质与地球物理研究所、浙江省文物考古研究所等13个单位的研究人员在《科学》上发文，揭示10万年间水稻从野生到驯化的演化史。

论文共同通讯作者于禄鹏告诉科技日报记者，科研人员利用浙江上山文化遗址中的水稻植硅体证据，结合沉积物的光释光等测年技术，重建10万年间水稻从野生到驯化的演化过程。



图为位于浙江省金华市的上山考古遗址公园发掘原址上再现的考古情景。
新华社记者 黄宗摄

对沉积物进行光释光测年的流程非常严格。第一步是提取纯净的石英样本。科研人员在考古现场使用钢管采集沉积物样本，并在避光条件下带回。为避免样品中的信号被破坏，需在红光暗室处理和测试样本。首先，使用盐酸去除碳酸盐，再用双氧水去除有机质，留下各种矿物成分。接着，筛选出测试所需的粒径范围，并利用重液浮选技术，选取密度为2.62—2.70克/立方厘米的石英颗粒。最后，经过氢氟酸刻蚀表面、盐酸溶解氟化物以及筛除细小颗粒的步骤，最终获得纯净的石英样本。

第二步是在实验室进行测试。在临沂大学释光年代学实验室里，科研人员将石英置于测片上，用仪器进行测试。仪器通过光激发晶体中储存的天然释光信号，随后使用放射源对石英施加不同辐射剂量，再次激发释光信号。这样，科研人员能获得信号与辐射剂量之间的函数关系，进而计算出石英在埋藏过程中储存的天然信号所代表的辐射剂量，即古剂量。最后，结合沉积物中放射元素的含量、地理位置以及含水量等参数，科研人员能计算出每年石英可以吸收的辐射剂量，即年剂量率。临沂大学释光年代学实验室工程师安萍解释说：“用古剂量除以年剂量率，就能得出埋藏时间，也就是沉积物的年代。”

测水稻真实“年龄”

“在我国南方的考古遗址中，由于湿热的气候条件，含碳物质难以保存，因此难以从中找到进行碳14测年的合适材料。”于禄鹏介绍，随着释光测年技术的发展及广泛应用，大量遗址的年代学问

题被解决。

不过，临沂大学释光年代学实验室对水稻植硅体的测年工作并非一帆风顺，如何选择含有植硅体的沉积物就是个难题。钾长石是一种在地质过程中常见的矿物，具有相对稳定的化学性质，常被用作光释光测年的材料。但对临沂大学的科研人员而言，钾长石并非开展水稻植硅体测年工作的理想材料。于禄鹏说，南方红土中普遍存在的风化作用导致钾长石含量极低，这意味着测年尺度可能受限。而且，考古遗址中的地层扰动导致不同年代的土混在一起，增加了测年工作的难度。“如果缺乏足够经验，没有通过各种尝试来选择正确方法，很可能无法得到准确结果，从而与重要发现失之交臂。”于禄鹏说。

幸运的是，虽然考古遗址的钾长石已基本风化殆尽，但石英却展现出替代材料的优势，能检测到广泛的年代范围，保证了10万年研究框架的建立。于禄鹏介绍，考古遗址中的石英很“亮”，在吸收同等辐射剂量情况下能发出更多光信号，这意味着研究人员可以对单个颗粒或少数几个颗粒的石英进行精确的年代测试。利用单颗粒技术，研究人员成功区分出混杂在一起的不同年代的颗粒，有效解决了地层扰动带来的问题，准确测定了关键层位的年代，从而测出水稻的真实“年龄”。

临沂大学释光年代学实验室目前已独立开展或与多家研究单位合作，在《科学》《第四纪科学评论》《地球科学前沿》等国际期刊发表研究论文。于禄鹏说，实验室以丰富经验、可靠数据赢得了广泛认可，未来将继续深化研究、拓展合作领域，又好又快为合作方解决年代学问题。