

# 八年发现一个秘密，破解油菜育种“世纪难题”

■本报记者 王方

基因组变异就像是 DNA（脱氧核糖核酸）的“拼写”，包括小的字母变化和大的段落变动。前者称为单个核苷酸变异（SNP），后者称为结构变异（SV）。如果“拼写”不同，将会如何影响作物？如果改变“拼写”，能否使作物满足人们的美好需求？

近日，中国农业科学院油料作物研究所研究员刘胜毅团队与华中农业大学信息学院教授杨庆勇团队合作，在《自然-遗传学》在线发表研究论文。他们历时 8 年，揭示了基因组结构变异调控基因表达和性状变异的机制，发现油菜硫代葡萄糖苷（以下简称硫苷）合成和转运偶联的“秘密”，创制出抗病油菜新种质。

## 结构变异的育种意义

在自然界中，基因组变异并不罕见。人们对作物的改良和育种也用了相关机理。此前，杨庆勇团队构建了首个油菜高质量泛基因组，绘制了目前最全面的油菜变异图谱。

论文通讯作者杨庆勇向《中国科学报》解释说，如果将基因组比作一部长篇巨著，单个核苷酸变异就好比文字或标点的微小差异，而结构变异则是句子、段落的变化，包括增加、删除、重复、错位等，后者对于表型多样性和物种进化的贡献更加突出，育种意义更大。

可以说，揭示结构变异与产量、品质、抗病害、生育期、抗逆性等重要农艺性状之间的关系，并利用相关知识和技术进行作物改良，对于挖掘和创制优异种质资源，提高作物产量、改善作物品质、增强作物抗逆性具有重要意义。

然而，以往的研究主要局限于单个个体水平，单个结构变异对基因表达和表型变异的影响研究。

论文通讯作者刘胜毅介绍说，此前，单个基因组结构变异对基因表达和表型变异

的影响及机制已有报道。人类和番茄等物种的研究表明，结构变异对于基因组进化和表型变异的影响远大于单个核苷酸变异。但在物种水平，结构变异对其的影响程度和范围尚不清楚。

杨庆勇表示：“由于多倍体作物基因组中重复序列多、变异丰富且复杂，很难直接通过二代短读长测序对结构变异进行高通量的精准鉴定，因此在群体水平上准确检测结构变异难度大且成本高，进而导致在物种水平缺乏结构变异对基因表达和性状形成调控规律的研究，严重制约了生物育种的进展。”

那么，如何抽丝剥茧，找到这一机理并应用于育种实践？

## 绘制一份全景图

团队首先选定了两个亚种、3 种生态型及人工合成油菜等 16 份油菜种质。研究人员基于 16 个甘蓝型油菜基因组和 2105 份重测序的核心种质资源构建了油菜物种水平的囊括所有结构变异的泛基因组，结合群体 5 个组织的转录组数据鉴定了基因表达调控的 SV-eQTL。

论文第一作者、中国农业科学院油料作物研究所副研究员张园园介绍说：“我们鉴定到的 285976 个 SV-eQTL，涉及 73580 个 eGene（占总表达基因数的 90%）和 47897 个 lead-eSV。其中，8631 个 lead-eSV 同时调控 5 个以上的 eGene，10217 个 eGene 同时受到 5 个以上的 lead-eSV 调控，说明了结构变异调控基因表达的复杂性。”

结构变异调控基因表达这么复杂，是否有规律可循？研究人员总结归纳出 8 种关键的分子机制：改变基因近端的表达调控序列/元件、通过影响转录因子进而调控下游基因表达、改变远端调控元件、破坏基因结构、通过转座元件介导的效应、通过影响组蛋白修饰介导、通过影响 DNA 甲基化介导、

通过影响 small RNA 介导的转录后调控。

“这些结果绘制出大规模的结构变异调控基因表达的全景图，为结构变异调控基因表达和性状变异的复杂机制提供了更深入的认识。”杨庆勇说。

基于上述数据信息，研究人员研发出群体遗传学的全基因组关联分析、全转录组关联分析、表达数量性状位点、全基因组关联分析-表达数量性状位点共定位的高通量联合分析方法，实现了从 DNA 变异到基因表达再到性状变异高通量解析，鉴定出油菜 35 种农艺性状的 726 个“结构变异→基因表达→性状变异”的因果关联和调控网络，涉及 180 个 eSV 和 311 个 eGene。

杨庆勇表示，这一高通量的鉴定、解析结构变异对基因表达及其相关性性状变异影响的方法和结果，为作物尤其是多倍体作物复杂性状形成机制解析提供了新策略。

## 打破连锁 创制新材料

揭示的机制、研发的方法，能否应用于育种，尤其是既抗病虫又高品质的油菜？事实上，这样的油菜关键在于其代谢物硫苷——要想抗病虫，需要叶片高硫苷；要想高品质，需要种子低硫苷。这正是油菜育种的一个“世纪难题”。

接下来，研究人员以硫苷合成和转运通路为例，全面阐述了上述各种类别结构变异介导的基因表达及其对性状的调控机制。

通过对硫苷合成和转运代谢途径的完整解析，研究人员获得了调控油菜中硫苷含量的 436 个候选基因及其单体型，包括 76 个转录因子、324 个硫苷合成酶基因和 36 个硫苷转运子基因，并发现 3 条染色体（A09、C02 和 C09）上都各自存在一个紧密连锁的强选择区域，均包含两个硫苷合成关键基因 MYB28、MYB34 和一个硫苷转运基因 GTR2，对应于拟南芥基因组祖先核型 X Block，致使硫苷合成和转运偶联在一起。

刘胜毅表示：“‘双低’（低芥酸、低硫苷）油菜的种子低硫苷主要是这 3 个位点中 MYB28 和 MYB34 的突变引起的。因此，如果要创制叶片高硫苷且种子低硫苷的油菜种质，必须打破这一连锁，形成有功能的 MYB28/MYB34 与无功能的 GTR2 组合。遗憾的是，来自全世界的 2105 份种质资源中都没有这样理想的基因型，致使目前油菜育种一直缺少叶片高硫苷、种子低硫苷的资源品种。”

为此，研究人员综合利用 CRISPR/Cas9 等生物育种技术，将油菜高硫苷品种 ZY821 中的 BnaA09.GTR2 敲除，使得叶片硫苷维持高含量的同时种子硫苷含量下降了约 50%。他们进一步聚合团队前期鉴定到的油菜种质资源中无变异的硫苷转运基因 BnaA06.GTR2 的基因敲除材料，创制出目前育种急需但缺乏的叶片高硫苷且种子低硫苷的新种质。

现在，育种家可以直接将这一新种质的几个位点导入现代“双低”油菜品种中，实现叶片高硫苷且种子低硫苷的品种改良。这样的油菜叶片富含高硫苷，不仅抗病虫害，在苗期和成熟期还适鸟吃，同时种子低硫苷极大提升了菜籽的营养品质，杜绝了家畜饲喂饼粕后的抗营养作用，协同达到高抗高品质的目的，可谓一石二鸟。

这项工作不仅提供了一种高通量基因挖掘和功能解析的方法策略，而且为油菜基因组研究和生物育种产业提供了全面的基因资源和优异的育种材料。

杨庆勇表示，未来研究团队将继续聚焦油菜生物育种国家战略，通过人工智能、大数据等技术进一步提高油菜中重要基因和变异的挖掘效率，为重大突破性油菜新品种培育提供基础理论、数据、工具和平台支撑，充分发挥多学科数据对油菜遗传育种研究的加速和赋能作用。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41588-024-01957-7>

## 发现·进展

中国科学院近代物理研究所等

# 研制出聚酰亚胺耐高温电池隔膜

本报讯（记者叶满山）中国科学院近代物理研究所材料研究中心科研人员与兰州大学、先进能源科学与技术广东省实验室等相关团队合作，利用离子径迹技术研制出用于高性能锂离子电池的聚酰亚胺耐高温隔膜。相关研究成果近日发表于《美国化学会-纳米》。

隔膜作为锂离子电池的关键部件之一，具有隔绝正负极和传导锂离子的功能，对电池的安全性至关重要。传统聚烯烃隔膜热稳定性差、孔隙结构不均一，在高温下容易收缩并造成电池内部短路，引发热失控。聚酰亚胺因热稳定性优异、机械强度高、化学稳定性良好，被视为高安全性隔膜的理想选择。

科研人员依托兰州重离子研究装置，开发出基于离子径迹技术的耐高温聚酰亚胺隔膜制备新工艺。他们制备的隔膜相较于传统聚烯烃隔膜优势明显，其机械强度高达 150.6 兆帕、耐高温性能卓越（450 摄氏度下结构不收缩）、孔径分布窄（孔径标准差 < 6%）、孔道结构垂直排列（迂曲度为 1）。

在 3 毫安每平方厘米的条件下，使用该隔膜的锂/锂对称电池可稳定循环 1200 小时，且在锂金属电极表面实现均匀、致密的锂沉积，表明其具有优异的锂枝晶抑制能力。此外，使用该隔膜的磷酸铁锂软包电池在常温下可稳定循环 1000 次，容量保持率为 73.25%，并表现出优异的高温性能，可在 150 摄氏度的环境温度下正常工作。

该研究工作为开发可靠的耐高温、高性能锂离子电池隔膜和工艺提供了新思路，成为提高锂离子电池安全性的有效途径和手段之一。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1021/acsnano.4c11217>

中国科学院广州地球化学研究所等

# 重建过去 7000 年的海表温度记录

本报讯（记者朱汉斌）中国科学院广州地球化学研究所副研究员陈雪霏、研究员邓文峰和韦刚健与澳大利亚昆士兰大学教授 Jian-xin Zhao 合作，揭示了中晚全新世印太暖池海表温度的跨半球同步变化及其与上层水体的关联。相关成果近日发表于《第四纪科学评论》。

印太暖池作为地球的“热量和蒸汽引擎”，对全球气候系统具有至关重要的影响。该研究通过整合南海北部的化石和现代珊瑚样本，重建了过去 7000 年的海表温度记录。他们将获得的数据与暖池其他海区的海表温度重建记录进行比较，试图从珊瑚古气候学视角解析中晚全新世热带海表温度的演变特征。

研究发现，南海北部海表温度自中全新世以来呈长期下降趋势，但在过去 3000 年中表现为明显的多百年尺度温度振荡。这一变化与暖池其他海区的海表温度重建记录具有显著的同步性，表明中晚全新世暖池海表温度的演变在跨半球尺度上具有一致性。

通过进一步对比热带辐合带和厄尔尼诺-南方涛动等区域海气过程和上层水体的演变记录，研究指出，暖池海表温度的南北一致性变化与次表层水体温度及海洋热含量紧密相关。而热带辐合带和厄尔尼诺-南方涛动的影响则更可能导致区域性差异，无法完全解释南北海表温度的一致性变化。因此，中晚全新世暖池海表温度的跨半球一致性变化主要反映了上层水体的同步影响，支持了深层海洋热含量作为影响低纬度气候过程热源的理论。

该发现不仅为理解热带海洋的海表温度演变提供了新视角，也强调了暖池水体温度演变的整体性特征。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2024.109064>

东北农业大学

# 揭示肉鸡腹部脂肪沉积调控机制

本报讯（记者孙丹宁）东北农业大学教授张慧、李辉等从三维基因组角度揭示了肉鸡腹部脂肪沉积的遗传调控机制。相关成果近日发表于《自然-通讯》。

肉鸡腹部脂肪沉积一直是家禽育种领域关注的核心问题。过度的腹部脂肪不仅影响肉鸡饲料转化效率、降低种鸡繁殖性能、影响肉质，还会增加死亡率，给养鸡业造成巨大的经济损失。然而，肉鸡腹部脂肪沉积是典型的数量性状，受微效多基因调控，其调控机制非常复杂。国内外学者基于 SNP 芯片和二代测序等高通量基因分型技术，利用全基因组关联研究等方法已经获得了一批与肉鸡腹部脂肪沉积性状变异具有统计学关联的基因组变异，但其影响表型变异的作用机制大部分仍是未知的“黑箱”。

研究团队将染色质空间构象作为连接基因组变异与转录调控的纽带，从三维基因组角度鉴定影响肉鸡腹部脂肪沉积的关键基因组变异，并解析具体调控机制。该研究通过整合多组学数据，全面绘制了与肉鸡脂肪沉积性状相关的功能变异、顺式调控元件、转录因子、三维基因组结构及目标基因的三维调控网络，从而解析了基因组变异调控基因转录进而影响肉鸡腹部脂肪沉积的具体机制。此外，该研究阐述了基因组变异如何通过改变染色质的三维构象影响目标基因转录，最终影响肉鸡腹部脂肪沉积。

该研究成果将为深入解析肉鸡脂肪组织生长发育的机理提供重要信息，为相关研究提供宝贵的证据。同时，该研究鉴定出的关键基因组变异具有潜在的育种价值，可为肉鸡腹部脂肪沉积性状的关键基因提供重要靶点。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-53692-6>

## 首部气象经济蓝皮书发布

本报讯（记者崔雪芹）近日，首部气象经济蓝皮书发布会在京举行。

中国气象局党组书记、副局长熊绍员在致辞中表示，目前气象服务已覆盖国民经济 70 余个行业。气象经济蓝皮书集中系统梳理了气象经济内涵结构、气象资源底数、气象经济实践和案例应用，为全社会系统了解气象资源和气象工作的经济意义打开了一扇门，具有开创性意义。

中国气象服务协会会长许小峰指出，伴随全球气候变化和我国进入新发展阶

段，经济社会发展对气象的依赖日益增强，应聚焦气候变化对经济的影响、气象价值评估、气象灾害风险评估等前沿领域深入研究，推动气象事业更主动融入经济建设主战场，以优质服务为经济社会高质量发展赋能。

在主题演讲环节，多位专家围绕气象数据资源及其经济价值、数字地球在气象产业中应用、“气象+交通”场景应用、冰雪资源及其经济价值等方面作了报告，并分享了未来对气象经济蓝皮书定位及编著思路的思考。

## 2024 世界农业科技创新大会推出系列成果

本报讯（记者温才妃）近日，2024 世界农业科技创新大会成果发布会在京举办，公布了前不久闭幕的 2024 世界农业科技创新大会在三天取得的成果。

一是发布了一批深度影响全球农食系统转型的重大创新报告。大会形成了《2024 世界农业科技创新大会一平谷共识》。《联合国粮食及农业组织农业创新报告》《国际农业研究磋商组织农业未来重大研究与创新领域展望》《非洲绿色革命联盟创新报告》《中国与全球食物政策报告》等报告和基因编辑抗蓝耳猪等一批科研成果集中发布。

同时，大会还发布了国家农业科技创新港全球合作计划，国家农业科技创新港

正式启动建设。

二是落地了一系列产学研用一体化深度融合的项目平台，促成了一批优质项目签约。其中，东阿阿胶与中国农业大学达成协议，拟投资 2.3 亿元建设联合产业创新研究院，将落地国家农业科技创新港，是创新港首个社会投资项目。

大会同期举办的世界农业科技创新博览会组织了 100 余项待转化重要科技成果参展，进行推介，创造了 1600 万元经济价值。

三是开辟了一条高质量服务新时代首都发展的特色赛道，服务北京国际科技创新中心建设，服务北京国际交往中心建设，支撑平谷农业中关村建设等。

# 发展新质生产力，教育何为？

■本报记者 胡珉琦

“科学、教育、人才与新质生产力究竟是怎样的关系？我认为，科技是动力，在三者中最活跃；人才是关键，是三者中的核心；教育是基础，虽然在三者中见效较慢，但效益最持久。”在近期举行的嘉庚论坛分论坛“教育科技人才：体制机制一体改革”上，中国科学院原党组书记郭传杰谈道。

教育在发展新质生产力中的基础性作用毋庸置疑。通过教育的高质量发展培养更多创新型人才十分重要，其中包括更新教育理念、升级培养模式等。

清华大学行健书院副院长徐声平在分享行健书院 10 余年的教育模式探索时强调，培养学生成为创新者是一项系统工程，而不是教几门课就能做到的。他认为，教育者首先要在观念上进行转变。

“在应试教育中涌现出的佼佼者，追求分数、追求确定性，容易‘内卷’、守成，不

接受失败。而我们需要的创新型人才，从个人特质到能力结构都与前者不同。他们喜欢寻找激情，愿意全力以赴追求，敢于冒险，接受失败，有好奇心和批判精神等。”徐声平说。

他坦言，两种人才存在巨大的鸿沟，这就要求我们转变教育模式。“从以知识结构为大纲、以教师为中心、学科相对封闭和单一、培养方案统一、通过竞争方式打败别人，变成以创新为轴线、以学生为中心、个性化定制培养方案、注重学科交叉和解决问题的能力。”

清华大学行健书院探索出一套以进阶式研究为主轴的创新培养体系。它以科学技术重大创新挑战性问题为牵引，激发学生们的创新激情。当学生找到方向后，学院会为他们铺设循序渐进的研究性成长台阶，让他们顺着台阶向上攀登。其间，研究

和学习相辅相成，共同促成一个人的创造性成长。

“这种模式的核心是让教育更包容、多元和有耐心，允许学生去开创、去试错。”徐声平表示，这种培养模式的成效非常突出。“首先让学生从被动、应试的状态进入主动、创造性的学习状态；其次，它尊重学生的多样性，帮助每个人找到适合的成长路径；最后，它关注学生的长期成长，而非短期、功利化的成功。”

理想的教育是让学生开心成长，人人都能找到并持续做最热爱、最擅长、最有价值的事。南京大学教育研究院教授张红霞在论坛上谈到，教育的总体趋势是越来越开放、越来越解放人性。清华大学的这类探索不能仅停留在个别高校，而应该大规模地推向更多高校甚至是基础教育阶段的学校。“现在基础教育的问题比较突出，我们无法给孩

子们非常大的成长空间。”

对此，中国科学院院士、厦门大学教授林圣彩表达了强烈的担忧。“尽管我们希望培养出有竞争力的创新型人才，但我们从源头上就做错了。”林圣彩直言，义务教育强调应试、排名，以牺牲健康的方式换来成绩，不仅会“扼杀”天才，还会让许多年轻人进入大学后潜意识地“仇恨知识”。

2024 年度陈嘉庚青年科学奖获奖人、中国科学院数学与系统科学研究院研究员田一超在分享自己的学习经历时表示，从事基础研究最重要的驱动力就是好奇心。他很庆幸学生生涯没有经历被迫式学习，而是凭个人兴趣走上了科研道路。这成了他在教育学生时的一个最重要原则。

“孩子的成长规律不可违，科研人员的成长规律不可违。”林圣彩呼吁更多人关注人才培养和基础教育的问题。