

## 广谱抗根肿病基因“卫青”：

# 植物体内点“烽火”，搭建屏障拦病菌

◎实习记者 沈唯

根肿病是一种由根肿菌引起的土传性植物根部病害，在农业生产上，可对油菜等十字花科作物造成极大危害，每年在中国的发病面积达4800万—6000万亩。根肿菌在土壤中可存活20年，耕地一旦被其污染，将不再适合种植十字花科作物，因而根肿病也被称为十字花科作物“绝症”。

近日，中国科学院遗传与发育生物学研究所周俭民研究员团队和陈宇航研究员团队合作，成功克隆了广谱抗根肿病基因，阐明其作用机制，并将该基因命名为“卫青”（WeiTsing，简称WTS），相关研究论文日前发表于《细胞》。

根肿病为何被称为十字花科作物“绝症”？成功克隆“卫青”对植物根肿病防治及抗病基因育种有何重要意义？带着这些问题，科技日报记者采访了论文共同通讯作者周俭民、陈宇航以及论文共同第一作者、共同通讯作者、中国科学院遗传与发育生物学研究所王伟副研究员。

## 根肿病为何成十字花科作物“绝症”

植物根部形成纺锤状的肿块是根肿病最典型的病症，根肿病也因此而得名。根部肿块会限制水分和营养物质的运输，从而使染病植物的地上部分因缺水萎蔫，直至死亡，最终导致十字花科蔬菜及油料作物显著减产甚至绝收。

“根肿菌的生活周期比较复杂，总体来说分为两个阶段。”王伟告诉记者，在第一阶段，土壤中的根肿菌休眠孢子受宿主分泌信号的诱导，会萌发形成初级游动孢子，初级游动孢子侵染植物根毛或者表皮，在这里发育为次级游动孢子；第二阶段次级游动孢子会进一步侵染植物的皮层和维管束，最终定殖在维管束薄壁细胞内引发不可控的细胞增大及分裂，从外观上看就形成了纺锤状肿块。

我国是油菜种植大国，其总产量约占世界的30%，位居世界第一。油菜也是我国分布区域最广、播种面积最大的油料作物。

周俭民从油料作物抗根肿病育种专家、华中农业大学张椿雨教授处得知，每年我国仅油菜的根肿病发病面积就达到约2000万亩。一旦发病，一亩油菜的损失可以达到50%左右甚至更高，这相当于每亩直接经济损失超400元。除了油菜之外，白菜、萝卜、甘蓝、花椰菜等常见十字花科作物也都会受到这种毁灭性土传病害的威胁。

根肿病之所以被称为十字花科作物的“绝症”，主要有两点原因。

王伟表示，首先，根肿病是一种土传病害，作为病原体的根肿菌随病残体（病叶、病果等）生活在土壤中，条件适宜时就会从作物根部侵害作物，对作物的危害性较大。且根肿菌可以在土壤中存活20年之久，耕地一旦被污染就无法种植十字花科作物。其次，缺乏有效的防治根肿病的化学药物。由于土壤有分散作用，施用农药的效果会大打折扣，且农药的使用还会造成环境污染等。

## “卫青”筑起抗根肿菌防御屏障

想要防治根肿病，方法主要有两种。周俭民表示，传

根肿病是一种由根肿菌

引起的土传性植物根部病害。根部肿块会限制水分和营养物质的运输，从而使染病植物的地上部分因缺水萎蔫，直至死亡，最终导致十字花科蔬菜及油料作物显著减产甚至绝收。在农业生产上，根肿病可对油菜等十字花科作物造成极大危害，每年在中国的发病面积达4800万—6000万亩。

统田间采用的管理办法是利用石灰进行化学防治，但这种办法只能解决一时的问题而无法根治根肿病，还会引发土壤板结等问题。

另一种方法就是种植携带抗根肿病基因的品种，这也是防治病害最为绿色、经济、高效的方式。此前已有科学家从欧洲芜菁中挖掘出抗根肿病基因，并将其导入油菜、白菜等农作物，实现根肿病防治。但由于根肿菌的快速变异，就需要不断创制推广具有广谱持续抗性的新品种。

为了找到广谱抗根肿病基因，联合团队综合利用了遗传学、生物化学、结构生物学及生理学等多种方法，收集了200多份十字花科植物拟南芥的不同生态型。不同生态型就是指同一物种由于长期生活在不同的生态环境中，导致在遗传和环境适应性上产生差异的不同类群。“我们通过大规模筛选和遗传分析等方法鉴定到了‘卫青’这个基因，并验证了其具有对根肿菌的抗性。”王伟说。

联合团队发现，将该基因导入油菜后，油菜表现出了对多个根肿菌的良好抗性，且不影响油菜的生长发育，这暗示着“卫青”在油料作物抗根肿病育种中有很大的应用价值。

“根肿菌定殖在植物的维管束中，刺激寄生细胞不断膨大以帮助其疯狂繁殖。对于富含营养和水分植物维管束组织来说，根肿菌就像‘匈奴’入侵农业高度发展的河套平原一样入侵着植物维管束。我国西汉时期的名将卫青曾以阴山作为防守线，抗击匈奴入侵河套平原，而我们发现的抗根肿病基因则是通过在维管束外围建立起免疫屏障来抵御根肿菌的入侵。因此，我们就将该基因命名为‘卫青’。”周俭民解释道。

“卫青”所编码的蛋白含有4个跨膜螺旋，具有全新的蛋白质折叠类型。“卫青”编码的蛋白定位于内质网，介导钙离子释放。通过将内质网中的钙离子释放到细胞质，在植物细胞中拉响病菌入侵的“警报”，开启防卫反应。

这项研究首次在植物中发现了新型钙离子释放通道，这种植物免疫激活机制不同于经典NLR蛋白抗病



图为受到根肿菌侵染的油菜根部。四川农业大学杨辉副教授供图

小体介导的免疫应答过程，表明植物能够利用新型离子通道来介导钙信号和免疫反应，揭示了一种植物免疫新范式。

## 为我国抗病基因育种提供更多资源

多年来，周俭民和陈宇航团队在植物抗病基因鉴定、功能研究、结构解析及通道活性鉴定等方面积累了丰富经验。例如周俭民、陈宇航团队联合其他团队揭示了经典抗病小体ZAR1蛋白的离子通道功能，明确了钙离子作为植物激活免疫的初始信号。

此后，陈宇航团队又在合作研究中解析了小麦抗病小体Sr35蛋白的离子通道活性，进一步支持了植物免疫的钙信号理论。这些研究为抗根肿病基因“卫青”的发现奠定了基础。

这项针对抗根肿病基因的研究前后历经7年时间，攻克了研究中基因验证困难、蛋白片段小、膜蛋白不稳定等多项难题。

陈宇航表示，此次研究取得了多项创新突破，成功克隆的广谱抗根肿病基因“卫青”不仅在农业生产上有较大的应用前景，还在根部特异细胞层的诱导和作用方式方面，对其他土传病害抗性机制的研究具有重要借鉴意义。

王伟认为，未来进行抗病基因育种的同时也要继续拓展抗病种质资源，抗病种质资源是植物抗病育种的原始材料，也是抗病基因的载体，有了丰富的抗性资源才能挖掘优良的抗性基因。

周俭民和陈宇航团队均期望今后能够利用不同的生物技术手段，把“卫青”更精准地导入油菜等十字花科作物中，创制含有“卫青”的十字花科作物品种并将其推广，为我国抗病基因育种提供更多资源。

# 研究发现种衣剂对作物种子和根际土壤影响复杂

## 需改良配方以弥补有益菌群损失

◎本报记者 李禾

为保障棉花作物的健康安全，研发土壤环境污染修复技术，中国农业科学院棉花研究所棉花病害防控与风险评估创新团队开展了种衣剂对棉花种子及根际土壤微环境的影响机制的研究，他们发现种衣剂改变了种子、根际土壤的微生物群落和代谢谱组成，降低了根际土壤过氧化氢酶活性和微生物总生物量。该研究为改良种衣剂，完善其在作物病害防治中的应用提供了重要参考，相关研究成果近日发表在学术期刊《环境污染》上。

## 明确种衣剂对种子内生菌群落的影响

棉花是重要的经济作物，也是纺织工业的主要原料。目前，对棉花种子和幼苗危害严重的病害有黄萎病、立枯病、红腐病、炭疽病、猝倒病等。

中国农业科学院棉花研究所研究员、棉花病害防控与风险评估创新团队首席科学家朱荷琴7月11日在接受科技日报记者采访时表示，由多种病原菌侵染引起的棉花苗期病害，严重影响了棉花种子萌发和幼苗生长，已成为限制棉花生产绿色可持续发展的主要问题之一。

用含有不同农药成分的种衣剂对种子进行包衣，播种后可防止土壤中病虫害侵袭。随着种子发芽出土，药剂从种衣中逐渐释放，还可防治棉花等农作物地上部分的病虫害。目前，采用种衣剂是防治棉花苗病最经济、最简便、最有效的措施之一。

朱荷琴解释，种衣剂中的杀菌剂成分可抑制土壤中病原菌的生长发育，起到防治棉花苗病的作用。其中，咯菌腈是一种新型广谱杀菌剂，它通过抑制病原真菌分孢子的萌发、芽管的伸长和菌丝的生长来发挥抑菌、杀菌作用；精甲霜灵主要通过阻断或抑制病原真菌菌丝体内蛋白质合成，来抑菌、杀菌；啶菌酯则是通过抑制线粒体呼吸，从而干扰病原菌的能量循环，达到抑制病原真菌菌丝生长和孢子形成的效果。

2.5%咯菌腈和11%精甲·咯·啶菌酯是两种最常用的棉花种衣剂。“但其对种子内生菌群落和根际微生态的影响尚不清楚。”朱荷琴说。

“我们通过微生物组和代谢组联合分析的方法，系统评价了种衣剂对棉花种子内生菌、根际土壤酶活性、根际土壤微生物群落和代谢谱的影响，结果发现，种衣剂处理显著改变了种子内生细菌和真菌的群落结构。”朱荷琴说。

研究团队还发现，种衣剂处理显著降低了棉花种子内变形菌门、厚壁菌门、杆菌

研究人员分析采集到的新疆阿拉尔、石河子土壤，发现种衣剂的使用显著抑制了根际土壤过氧化氢酶活性、细菌和真菌生物量，同时也显著抑制了土壤中的一些有益微生物，但也能富集一些潜在的污染物降解菌。

等微生物的丰度。而丰度是衡量微生物群落结构、多样性及生态功能的重要指标。

## 为开发土壤环境污染修复技术提供支撑

“我们研究分析采集到的新疆阿拉尔、石河子土壤，发现种衣剂的使用显著抑制了根际土壤过氧化氢酶活性、细菌和真菌生物量，同时也显著抑制了土壤中的一些有益微生物，但也能富集一些潜在的污染物降解菌。”朱荷琴说，种衣剂对作物种子和根际土壤的影响是非常复杂的。

细菌和真菌共生网络分析表明，种衣剂显著改变了播种后21天时的土壤代谢谱，其中包括脂质和类脂分子、有机酸及其衍生物等。咯菌腈、精甲·咯·啶菌种衣剂处理的棉花根际土壤过氧化氢酶活性，在种植后7天、21天和49天均显著低于对照组。

土壤过氧化氢酶主要来源于土壤微生物和植物根系的分泌物，是土壤生物代谢的重要酶类，主要功能是解除土壤中过氧化氢的毒害作用。

“除了棉花根际土壤过氧化氢酶活性显著降低外，咯菌腈、精甲·咯·啶菌种衣剂处理的种子播种在阿拉尔和石河子地区的土壤后，土壤总细菌和总真菌丰度也有显著降低。”朱荷琴说，通常认为土壤微生物丰度越高，生态系统就越稳定，对植物的长期生长就越有利。

不过，不同地区的土壤受种衣剂的影响并不相同。研究发现，石河子土壤中的微生物群落对种衣剂胁迫的抵抗力高于阿拉尔土壤。

“根据这些研究结果，未来我们可通过在种衣剂中添加、整合特定的微生物群，以抵消种子和根际中损失的有益菌群，增加防病效果。同时，可以进一步分离、培养高效降解咯菌腈和精甲·咯·啶菌的菌株，为开发土壤环境污染修复技术和保障作物健康安全提供有力支撑。”朱荷琴说。

## 研究进展

## 高性能酶助力淫羊藿素提取

◎本报记者 张晔 实习生 普京文

淫羊藿素源于珍贵中药材淫羊藿，对肝癌疗效显著。近日，科技日报记者从南京林业大学（以下简称南林大）获悉，该校化学工程学院“酶好未来”团队研发出高性能酶制剂，可将淫羊藿素转化率提高至95%，使产品纯度达到98%以上，大大提高了淫羊藿素的获得率与品质。

据了解，淫羊藿素的提取十分困难。市场上淫羊藿素生产厂家大都使用化学法提取或者直接合成淫羊藿素，但普遍收率不高。传统的酶解法则常使用市场上可购得的复合酶进行生物转化，但只能实现对淫羊藿苷这一单一成分的转化，且转化率较低。

2019年10月，南林大化学工程学院生物制药专业本科生张志洁，在导师赵林果教授的指导下，组建团队开展了淫羊藿素提取与制备相关研究。该团队针对淫羊藿总黄酮的相关特性，应用基因改造、克隆表达等现代生物技术，研发出了独特的高效生物酶。该酶可将淫羊藿总黄酮中的5种黄酮全部定向转化为淫羊藿素，从而实现淫羊藿素的高效制备。

该团队在独创生物酶的基础上还集成创新了酶的固定化使用技术，使酶在重复使用20次以后活性还能达到最初活性的90%。这一方法将酶的使用成本降低了70%。此外，相比用化学法制备淫羊藿素，使用生物法制备减少了化学试剂的使用，污染也大大减少。

目前，该团队研制的淫羊藿素产品已在4家单位投产，未来将助力我国抗癌药物研发，让更多癌症患者从中受益。

## 科研人员育出不飞絮“美人杨”

◎本报记者 杨仑

杨树成荫速度快、好管理、适应性强，历来是我国北方城市的主要绿化树种。可春天的杨絮实在惹人烦。吉林省白城市林业科学研究院（以下简称白城市林科院）几代科研人员历经20多年，终于育出不飞絮的“白城山新1号杨”，有望彻底解决杨树飞絮问题。

雌株散粉，雌株飞絮。飞絮问题主要来自杨树的雌株。春季，雌花序授粉后生成一个个小蒴果，里面就是白色絮状绒毛和种子。待发育成熟，小蒴果逐渐裂开，白色絮状的绒毛携带着种子随风飞舞，就形成了漫天飞絮。

日前，科技日报记者走进白城市林科院的试验林，一株株杨树树冠紧凑，树干通直饱满。“这是白城山新1号杨，俗称‘美人杨’。”白城市林科院碳汇研究中心副主任付志祥告诉记者。

白城市林科院副院长王国柱介绍，山新杨系列优良绿化品种包括了白城山新1号杨、“贵妃杨”“白贵妃杨”等，其中白城山新1号杨的蒴果内没有种子，因此不会飞絮；“贵妃杨”“白贵妃杨”，它们的成龄植株不分化花芽，没有花，自然也不可能存在飞絮问题。“不仅如此，‘白贵妃杨’的树皮更加洁白、光滑、细腻，如果用于城市绿化，将非常美观。”王国柱说。

杨树育苗主要方式为扦插繁育，但是山新杨系列优良绿化品种扦插几乎不生根，为了解决这一问题，科研人员还开发出一套开放式组培技术体系，该体系省去了高压锅、超净工作台等贵重组培设备，节能降耗，提高了组培效率，实现了山新杨系列优良绿化品种工厂化苗木繁育。

近日，在中国林学会组织下，由浙江农林大学、吉林省林业科学研究院等有关专家、教授组成的国家林业科技评价委员会，对白城市林科院选育的“山新杨系列优良绿化品种和高效繁殖技术”科技成果进行了现场查验和会议评价。委员会一致认为，该系列成果整体达到国际先进水平。

据了解，山新杨系列优良绿化品种目前在东北三省、内蒙古自治区以及北京市、山东省、河北省张家口市和雄安新区等地均有引种栽培，且长势良好。

## 红壤旱地赣豆10号再获高产

科技日报讯（记者魏晨展 通讯员李莉）加快高油高产大豆品种培育与推广应用是促进大豆产能提升的关键之一。7月11日，科技日报记者获悉，江西省农学会组织有关专家对江西省农业科学院作物研究所实施的江西现代农业科研协同创新赣豆10号重大成果示范推广项目试验示范与高产创建田块进行了现场测产。赣豆10号与红壤旱地春大豆密植轻简增产增效栽培技术配套，种植182亩，长势均衡。经测产，赣豆10号亩产255.1公斤。

据悉，赣豆10号2017年通过江西省审定，2021年通过国家审定，是江西省第一个国审春大豆新品种；2021—2022年参加湖南省区试，蛋白质含量39.1%，油分含量22.5%，产量177.6公斤/亩，比对照（湘春豆24）增产8.0%，具有高油高产、稳产优质多抗的特点。

因此，加速高油高产大豆新品种赣豆10号重大成果示范推广，对促进江西及南方区域大豆单产提升，进而促进大豆和油料产能提升具有重要意义。

值得一提的是，当前赣豆10号经营权已成功转让，为打通良种应用于生产“最后一公里”，大面积提升江西及南方区域春大豆单产和产能提供了“种源”支撑。



专家对赣豆10号试验田进行测产。本报记者 魏晨展摄