



农民利用植保无人机进行小麦条锈病防治和叶面肥喷洒作业。  
新华社发(梁孝鹏摄)

小麦条锈病是世界范围内严重危害小麦生产的重要流行性病害,对国家粮食安全构成严重威胁。应用抗病品种是防治小麦条锈病最经济、有效、安全的途径。新基因的获得,是开展生物育种的前提。如今, YrNAM 基因的克隆为科研人员开展抗小麦条锈病育种创造了条件。

## 发掘更多抗病基因 培育更多抗病品种

# 对付条锈病还需小麦自身“硬”

◎本报记者 王延斌 通讯员 王静

小麦条锈病是一种流行性重大病害,可致小麦减产甚至绝收,其防控更是世界性难题。8月18日,科技日报记者从山东农业大学了解到,由该校付道林教授领衔的小麦生物育种团队建立了快速基因克隆技术体系——性状关联突变体测序技术,在小麦中克隆到一个新型抗小麦条锈病基因 YrNAM,为小麦的抗病机理研究、生物育种和种质创新提供了重要的基因资源及技术支撑。这一科研成果近日在线发表于《自然·通讯》。

小麦条锈病的危害是什么?为什么要克隆新的抗病基因?上述发现有何意义?带着这些问题,科技日报记者采访了该团队。

## 小麦条锈病对粮食安全构成严重威胁

“小麦条锈病是世界范围内严重危害小麦生产的重要流行性病害,对国家粮食安全构成严重威胁。”付道林向记者表示。中国是世界上小麦条锈病发生面积最大、危害损失最重的国家之一。2020年,小麦条锈病被农业农村部列入《一类农作物病虫害名录》。付道林说,从苗期、拔节期、开花期,一直到成熟期,小麦在整个生育期均可被小麦条锈菌侵害。小麦条锈病可使小麦生长发育受到多方面的影响,最终导致小麦产量的损失。小麦条锈病一般流行年份常引起减产5%—10%,个别流行年份可引起减产25%,发病严重田块可导致60%以上的减产甚至颗粒无收。

如今,对我国四川省、陕西省、甘肃省、湖北省十堰市、河南省信阳市等地来说,小麦条锈病仍是当地小麦生产的第一大病害。

在付道林看来,小麦条锈菌流行速度快、发生区域广,可随高空气流传播,其防控是世界性难题。克隆新的抗病基因,选育和推广利用抗小麦条锈病小麦品种,是降低小麦条锈病危害最绿色安全、最经济有效的措施。尽管国内外不少高校院所都在针对小麦条锈病防控展开研究,不过由于小麦基因组庞大、基因复杂,长期以来开展小麦关键基因的克隆非常困难。据了解,在抗小麦条锈病基因研究

领域,目前国际上仅有不足十个基因得以成功克隆。

据了解,影响小麦条锈病发生和流行的环境条件主要是雨水与气温。比如夏季多雨,有利于越冬菌源繁殖;冬季气温偏高,有利于菌源越冬;春季雨露充沛,促进病菌侵染、发展和蔓延。反之,早春干旱,病叶枯死可延缓病害流行。

## 培育抗病品种抵御小麦条锈病

小麦条锈病具有分布广泛、病原菌生理小种复杂多变等特点,常常导致小麦抗病品种抗性频繁丧失。因此,小麦条锈病的抗源发掘和抗病基因鉴定一直是植物病理学与遗传育种学研究领域的热点、难点和重点。

专家认为,防治小麦条锈病可以通过使用化学药剂;还可使用物理方法,在小麦生长期进行适量清茬等防止病害发生。但应用抗病品种是防治小麦条锈病最经济、有效、安全的途径。传统育种中,一般利用抗病基因培育抗病品种。

“在我国,育种家利用抗病基因 Yr1、Yr9 和 Yr26 等培育的抗病品种,为小麦条锈病防控作出了重大贡献。”上述论文共同通讯作者、山东农业大学农学院教授吴佳洁表示,大面积种植单一抗病基因品种,常导致病原菌新毒性小种的出现,并逐渐形成优势小种,使小麦抗病品种丧失抗病性,病害暴发流行。

此次团队研发的性状关联突变体测序技术,就是为了解决抗小麦条锈病基因缺乏、基因克隆困难等问题。吴佳洁介绍,该技术不需要构建精细遗传图谱,无需获得亲本材料的参考基因组,可实现小麦目标基因的快速克隆,并且经济有效。

新基因的获得,是开展生物育种的前提。如今, YrNAM 基因的克隆为通过生物育种策略开展抗小麦条锈病育种创造了条件。在吴佳洁看来,新克隆的 YrNAM 代表着新一类的抗病基因,同时,其对多个小麦条锈菌生理小种具有高水平抗病性,这意味着它具有潜在的生产应用价值。

在实验过程中,山东农业大学的专家们对数百份小麦品种进行了分子标记检测,未发现有品种携带 YrNAM 基因。另外,序列分析结果表明,在目前已测序的普通小麦基因组中未发现 YrNAM 基因,这意味着全新的 YrNAM

基因对于筛选新的小麦条锈病抗源、创制抗小麦条锈病新种质意义重大。

## 发掘更广泛的抗病基因 类型刻不容缓

谈及小麦条锈病防治仍面临哪些挑战时,付道林表示:“小麦条锈菌变异迅速,可通过基因突变、有性生殖等诸多变异途径产生大量新毒性小种。小麦品种大规模推广3年到5年后,病菌变异产生的新毒性菌系就可能‘攻破’品种的抗性,导致病害成灾。”

小麦条锈菌随着高空气流飞往全国各地,让无数麦农深受其害。半个世纪以来,尽管我国对小麦条锈病的防治工作十分重视,投入了大量人力、物力、财力,不断提升防治技术,但对付“狡猾”的病原菌,还有很长的路要走。

“纵观我国小麦条锈病的发生流行与防治历史,小麦常常处于条锈菌流行的威胁之中。因此,加强小麦条锈病综合治理理论与技术研究,实施源头治理战略,建立持久防控机制,对于保障国家小麦生产安全和粮食安全至关重要。”付道林提到,一方面,培育一个抗病品种需要花费10年左右的时间,品种抗病性丧失年限明显短于品种培育年限。他认为,病菌新毒性小种的产生和发展是导致品种抗病性“丧失”的主要原因,抗病品种的不合理布局和品种抗源的单一性,为新的毒性小种产生提供了条件。

另一方面,虽然抗病品种的选育与应用在我国小麦条锈病防治中发挥了重要作用,但是抗病基因有限、优异抗病种质资源缺乏,导致抗病品种长期滞后于小麦条锈病优势小种,同时缺乏抗小麦条锈病、赤霉病、白粉病等的多抗品种。

付道林表示,目前,小麦育种及生产中可利用的有效抗病基因较少,同时已有基因逐步失去其应用价值,仅 Yr5、Yr15 及 Yr61 等少数抗病基因对当前国内小麦条锈菌流行小种仍表现出抗病性。因此,发掘更为广泛的基因类型用于抗小麦条锈病育种已经刻不容缓。

针对小麦条锈病的有效防控,付道林建议,一方面要明晰病原菌群体进化和小麦抗病属性,合理布局使用不同抗病品种,构建不同麦区的生物屏障;另一方面要阐明病原菌致病机理和抗病基因的功能,利用新技术研发新机制、创制新抗源。

## 钙基改性生物炭+低镉积累玉米

# 双管齐下让污染土壤种出安全粮

◎本报记者 马爱平

近日,农业农村部环境保护科研监测所重金属生态毒理与污染修复创新团队研究发现,通过向土壤中添加钙基改性生物炭,并种植低镉积累玉米品种,可以有效修复碱性镉污染土壤,该研究为碱性镉污染土壤的修复和土壤生态环境的改善提供了理论依据。相关研究成果发表在《土壤和耕作研究》上。

测序结果表明,钙基改性生物炭改变了微生物群落结构和组成,主要表现为物种数目和多样性指数以及优势物种相对丰度显著增加。该技术在碱性镉污染土壤的安全利用和改善农业土壤微生态环境方面具有良好的应用潜力。

## 生物炭表面改性可增加对重金属的吸附能力

在过去的几十年里,由于具有固碳、提高土壤肥力和固定污染物的优势,生物炭已被广泛用于修复不同类型的重金属污染土壤,但原始生物炭修复高浓度重金属污染物的能力可能有限。

论文通讯作者、农业农村部环境保护科研监测所研究员孙约兵表示,大量研究表明,生物炭的表面改性可以优化其理化性质和对重金属的吸附能力。生物炭的表面改性可以通过不同的方式实现,主要包括蒸汽活化、热处理、酸性/碱性改性和金属盐或氧化物的浸渍。

据报道,由于对重金属胁迫的抗性和耐受性存在差异,不同品种的作物对重金属的吸收和富集能力存在明显差异。“适当选择低镉积累玉米品种并结合改良剂,可以有效减少镉向作物地上部分的积累和迁移,这可能会成功提高玉米在碱性镉污染土壤中的镉耐受性。”孙约兵指出。

重金属在土壤中的分布、迁移和生物利用度与各种土壤因素密切相关。除了经常被提及的土壤 pH 值、盐度、有机质含量和氧化还原电位等因素外,土壤团聚体还可以对重金属在土壤颗粒中的分布起决定性作用。许多研究表明,由于物理化学特性的不同,土壤团聚体的各种颗粒对重金属的吸附能力可能不同。

“团聚体是土壤的重要组成部分,也是土壤结构的基本单位。了解重金属在土壤团聚体中的分布和迁移,可以帮助我们科

学有效调节重金属的含量。”孙约兵说。

## 为碱性镉污染耕地安全利用提供指导

土壤微生物作为土壤理化过程的主要调节因子,在养分循环、肥力提高和固碳等方面发挥着关键作用。生物炭由于具有巨大的比表面积和孔隙体积,可以为微生物提供栖息地和庇护所。

此外,生物炭中的有效水溶性营养素等会影响微生物活性,可能会改变土壤微生物栖息地的物理化学性质,从而改变土壤微生物群落结构。此前,研究人员发现,添加生物炭可以增加土壤养分含量和有机碳矿化,导致土壤微生物活性和群落结构发生明显变化。

论文第一作者、农业农村部环境保护科研监测所博士研究生孙彤介绍,本研究通过田间试验,从微观角度探讨了钙基改性生物炭和低镉积累品种组合管理对土壤中镉的生物利用度、玉米籽粒镉积累和微生物生态功能修复效果的影响。研究结论将为今后使用钙基改性生物炭作为土壤改良剂,为碱性镉污染耕地修复和安全利用提供实用指导。

## 研究进展

## 研究揭示蜜蜂免疫系统可精准识别近缘异源菌株

科技日报讯(记者马爱平)8月20日,记者从中国农业大学获悉,该校植物保护学院周欣教授团队首次揭示了蜜蜂的免疫系统可以在更精细的层面识别近缘的异源菌株,并仅针对异源菌株调用免疫反应,以维持蜂宿主与原生肠道共生菌之间的紧密共生关系。相关研究成果近日在线发表在《美国科学院院刊》上。

大部分动物都有肠道共生菌,且肠道共生菌普遍存在宿主特异性。解析这种紧密共生关系的形成机制,是理解动物共生肠道微生态系统建成和维持的关键。真社会性蜂类(包括蜜蜂、熊蜂和无刺蜂)的成虫都有相对简单但组成稳定的核心肠道菌群,并通过社会性接触传递给新羽化的工蜂。

已有研究认为,在蜂宿主和肠道菌共同多样化演化的过程中,原生肠道菌的共同祖先已经与宿主的共同祖先形成了共生关系,并随着宿主的分化而形成了具有宿主特异性的菌株。因此,该系统提供了一个绝佳的研究模型,以阐明宿主—肠道菌的互作关系在菌的宿主特异性演化过程中是否发挥了关键作用。

论文通讯作者周欣表示,研究利用来自西方蜜蜂(以下简称西蜂)和熊蜂肠道的核心菌株 Gilliamella 菌株,首先通过交叉定植实验确定了 Gilliamella 菌株存在宿主特异性。随后通过转录组分析及免疫基因的表达检测,发现异源的熊蜂 Gilliamella 菌株能够激发西蜂产生更强烈的免疫反应。使用 RNA 干扰技术(RNAi)抑制西蜂 IMD 和 Toll 免疫通路基因的关键基因 Relish 和 dorsal-1,显著提高了熊蜂 Gilliamella 菌株在西蜂肠道中的定植量。

“进一步的研究发现,在熊蜂 Gilliamella 菌株定植西蜂的过程中,Relish 和 dorsal-1 通过促进 Duox 基因表达进而增加肠道内活性氧(ROS)水平,从而抑制异源菌株的增殖,而这一过程并无抗菌肽的参与。在昆虫肠道免疫反应中,Duox-ROS 途径通常是宿主应对病原微生物感染的第一道防线。本研究发现蜜蜂正是利用了这一免疫途径,精准限制了异源菌株在肠道内的增殖。”周欣说。

论文第一作者、中国农业大学植物保护学院博士研究生郭丽珍介绍,研究结果从演化的角度,首次阐明了昆虫的先天免疫系统在肠道菌的宿主特异性形成和维持过程中的作用机制,为宿主—共生微生物互作的基本范式提供了全新的证据。



视觉中国供图

## 我科研团队用木质素制备绿色胶黏剂

科技日报讯(记者谢开飞)8月20日,记者从福建农林大学获悉,该校李帅教授团队突破了传统木质素基木材胶黏剂制备过程复杂、成本高、性能较差的技术瓶颈,利用高活性木质素制备出黏接性能优异的新型绿色木质素胶黏剂,具有促进工程材料向绿色、低碳和可持续方向发展的巨大潜能。相关研究成果日前发表在《国际期刊《自然》》上。

人造板被广泛应用于建筑、家居、装饰和包装等领域,我国人造板年产量超过3亿立方米,产量居全球第一。目前,人造板常用的胶黏剂主要包括脲醛树脂和酚醛树脂,其主要原料来源于化石产品,合成和使用化石基胶黏剂会释放甲醛等有毒、有害气体。

为了降低对化石原料的依赖,传统方法用林木生物质中的木质素替代部分苯酚,合成木质素—酚醛树脂胶黏剂。由于工业木质素在分离过程中缩合严重、活性较低,使得该胶黏剂的胶合性能较差、颜色较深、成本较高,而且无法完全克服甲醛释放的问题。因此,长期以来,科研人员一直试图利用绿色低碳的生物质制备低成本、高性能且无毒的木材胶黏剂。

该团队在前期研究基础上,从木材和秸秆等生物质中提取出高活性木质素,制备成新型绿色木质素胶黏剂。使用该木质素胶黏剂可以在较宽热压温度范围(100°C—190°C)内制备出性能优异的胶合板。新型绿色木质素胶黏剂具备工艺简单、性能优异、成本低的优势,拥有替代传统石化基木材胶黏剂的潜力。

## 大容量 多样化 小麦突变体库创建

科技日报讯(记者马爱平)8月20日记者获悉,中国农业科学院作物科学研究所小麦育种新技术及应用创新团队历经10余年,创制了大容量表型变异丰富的小麦突变体库,构建了含有基因外显子区变异期的大容量突变体库,覆盖株型、叶型、穗型、粒型、根系等全生育期不同性状变异。近日,相关研究成果发表在《植物生物技术》上。

由于小麦基因组庞大,构建大容量、涵盖更多基因变异的突变体库对小麦功能基因组研究非常必要,含有基因变异信息的突变体库可作为作物功能基因组研究提供重要材料基础。

该研究以不同诱变方式创制的2162份小麦突变体为材料,结合突变体基因外显子区测序,鉴定到18025209个突变位点,有效突变覆盖大多数的小麦功能基因,每千个碱基的编码区平均检测到47.1个突变,突变位点阳性率达94.5%。研究团队还搭建了小麦基因突变位点检索网站,该网站自运行以来,已为国内外小麦研究人员提供突变材料400余份。