

■ 大话农科

赤霉病,这种由多种镰刀菌真菌引起的病害因在世界范围内极具毁灭性且防治困难,号称小麦“癌症”。它不仅会导致严重的产量损失,还影响籽粒品质和食品安全。攻克这种疾病的“利器”一直是国内外小麦研究者的关注焦点。

近日,南京农业大学教授马正强团队在我国长江中下游的小麦基因资源“望水白”和“苏麦3号”中,通过图位克隆的方式,找到了抵抗小麦“癌症”的关键基因 *Fhb1*,为战胜赤霉病提供了“利器”。相关成果近日在线发表于《自然-遗传学》。

“这是针对赤霉病克隆的第一个基因,而且是一个主效抗病基因,具有重要的理论意义与应用价值。”中国农科院作物科学研究所小麦基因组专家、并未参加此项研究的贾继增研究员说,我国科学家成功克隆抗赤霉病基因向世界证明了我国在国际小麦研究领域的实力。

对此,河南省小麦抗病虫害育种首席专家、河南科技学院生命科技学院教授茹振钢认为,这项研究预示着我国小麦抗赤霉病育种“由经验上升到科学”,将为我国培育高产又抗赤霉病的小麦品种开辟崭新的天地。

一个关键“利器”

关于赤霉病的“症状”,其最明显的表现是麦穗枯死或烂麦头。“在病原菌感染初期,麦穗上的感染点呈水浸状、浅褐色斑,随着病情发展,逐渐扩大至整个麦穗,最后形成枯穗。”马正强描述。

“枯白穗不结实,即使结实,籽粒也干瘪、皱缩,含有病原菌分泌的毒素,严重危害人畜健康,没有任何价值。”他补充说。赤霉病主要是在小麦开花期遭遇高温(25°C-30°C)和湿度较大的气候条件下入侵穗子。一般流行年份可使小麦减产5%-15%,在大流行年可使小麦减产30%-60%,甚至绝收。

历史上,长江中下游冬麦区和东北春麦区是我国赤霉病重发区。但近年来,由于全球气候变暖,加之秸秆还田,赤霉病流行越来越频繁,形成“北扩西延”之势,对我国主产区小麦生产构成了严重威胁。统计显示,近10年中有8年我国赤霉病发病面积都超过8000万亩;80%左右小麦产区都有赤霉病流行的风险。

至今,马正强依然对2012年赤霉病大流行的情形记忆犹新。这是近年来我国赤霉病最严重的一年,全国发病面积近1.5亿亩,占小麦种植面积的40%。其中,江苏、安徽、河南和山东部分发病严重的区域产量损失达80%以上,“很多麦田看上去一片枯白,让人痛心”。

不止如此,赤霉病致病菌——镰刀菌为真菌,会产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇(以下简称DON)等真菌毒素。DON不但毒性强,而且持久,染病小麦贮藏4年依然能保持毒性。人或动物食用后会带来许多潜在的健康危害。各国对食用小麦的病粒率有严格限制。在我国,每100粒中有4粒病粒就不符合收购标准,毒素含量大于1ppm(百万分之一)不符合食用或饲料要求。

幸运的是,我国有世界上最好的赤霉病抗源。国内外实践已经证明,我国小麦地方品种“望水白”及“苏麦3号”携带的抗赤霉病基因 *Fhb1* 是小麦中目前已知的抗性最好的基因。马正强和副教授贾海燕、博士生李国强、博士周继平等,分析了全球643份普通小麦品种中该基因对染色体区段的遗传变异,发现它很可能起源于我国长江中下游地区,是我国特有的优异小麦基因资源。“该地区历来是赤霉病流行和暴发的区域,强大的选择压力提供了抗赤霉病自然突变被保留下



▲ 科研人员在田间进行调查
▶ *Fhb1* 的导入显著提高小麦品种的赤霉病抗性(挂牌的标示单花接种赤霉菌后的穗子)
南京农业大学供图

阻击小麦“癌症”

新基因“利器”让高产与高抗不再相悖

■ 本报记者 冯丽妃

来的条件。”马正强说。

利用分子标记辅助选择的方法,研究人员将从江苏溧阳的小麦地方品种“望水白”和原太湖地区农科所培育的“苏麦3号”获取的 *Fhb1* 基因,导入来自江苏、山东、河南、四川的中感或高感赤霉病小麦品种中,使这些品种的抗赤霉病扩展能力大幅度提高,并显著降低小麦籽粒中DON的含量。

“这项成果很好地解释了抗赤霉病性状演化中基因所发挥的作用,而且这个基因还是中国长江流域的。”茹振钢在接受《中国科学报》采访时说,“这是一个非常了不起的贡献。”

他认为,这项研究对于利用中国抗赤霉病优良基因,培育“既抗病又高产的品种是一个很大的理论突破、技术突破,将来一定能够带来小麦育种的品种突破”,为我国和世界小麦生产和食品安全提供保障。

尚需提及的是, *Fhb1* 的克隆还具有非常广泛的应用潜力。由于赤霉菌还会在大豆、水稻、玉米等多达100余种植物中引起许多病害,在其他植物中利用这一基因也可能提高抗病能力。

一条坚守之路

据统计,从2014年到2017年,世界粮食生产在7.26亿吨到7.71亿吨之间。其中,全球因赤霉病导致的产量损失达2.85%。影响的国家和地区包括美国、加拿大、巴西、阿根廷、中国、印度、欧洲、北非和撒哈拉以南地区、东南亚等。

由于其波及范围广,世界上很多著名的实验室都在寻找能够抵抗赤霉病的关键基因。“小麦重要功能基因的克隆是一场激烈

的国际竞争,是和欧美发达国家的竞争。”贾继增说,而且国外所研究的抗病材料大多都来源于我国,特别是“苏麦3号”中发现的 *Fhb1*, 是世界上做赤霉病研究的首选材料。因此,我国科学家成功克隆抗赤霉病基因具有重要意义。

不过,这项成绩的取得并非易事。以往,这类小麦基因克隆主要面临三个难题。

首先,必须保证抗性鉴定的准确性,不然就会“失之毫厘,谬以千里”。由于小麦的赤霉病抗性是数量性状(QTL),受环境影响比较大,表型评价非常困难。在田间接种时天气的温度、湿度,是否刮风下雨都能直接影响接种的成功率和发病情况。因此,需要经过多个年份多个试验点的田间表型鉴定,才能确定一个材料的抗感情况。

其次,在一些遗传分析群体中, *Fhb1* 位点所在区间存在重组抑制现象,精确定位困难。研究团队在经过反复尝试未果后,更换遗传分析群体才获得成功。

再者,当时没有可参考的小麦基因组序列,完整的小麦基因组图谱在2018年8月才绘制完成。而且,小麦是一个六倍体,其基因组是水稻基因组的40多倍,是人类的5倍多,其中重复序列达到85%以上,给确定 *Fhb1* 位点的物理区间增加了很大难度。

“正因如此,许多小麦研究者都不敢碰图位克隆的课题,更不敢做QTL的图位克隆。马正强课题组能够在十多年前选择难度如此大的课题,没有足够的勇气是不可能的。”贾继增说。在他看来,这还体现了课题组“一丝不苟、严谨求实的科学态度”和“不屈不挠、敢于相信自己的精神”。

关于 *Fhb1* 基因研究,国际上还经历过一个波折。两年前,美国一所大学就有两个

实验室在做这项工作,其中一个实验室抢先在《自然-遗传学》上发表了结果。尽管如此,马正强团队并没有放弃相关研究,而是对自己的研究结果反复验证,才有了现在发表的这个研究成果。如今看来,2016年发表的基因已经被排除了。

在同一期刊,美国堪萨斯大学华裔科学家柏贵华团队也报道了 *Fhb1* 的克隆,尽管作用机制有所差异。对此,贾继增认为,这说明有必要进一步开展相关研究。

这项新研究有两个意义。马正强解释说,一是奠定了认识小麦抗赤霉病分子机制的基础,朝最终解决赤霉病这一难题迈出了重要一步;二是有助于提高小麦抗赤霉病的育种效率。在育种实践中快速提高小麦对赤霉病的抗性。

“由于国际上小麦抗赤霉病的研究是难点也是热点,竞争非常激烈。为保护我国所拥有的基因资源和知识产权,此次研究的部分成果已得到了美国和中国专利授权。”他说。

一个新的前景

不过,由于小麦对赤霉病的抗性有多种类型,主要包括抗侵染和抗扩展,单靠 *Fhb1* 一个基因并不能战胜小麦“癌症”。

自2000年以来,马正强团队对几个主要的抗赤霉病QTL开展了精确定位研究。他们克隆的 *Fhb1* 基因和另一个基因 *Fhb2* 主要提供对赤霉病扩展的抗性,即在病原菌感染成功后,阻止赤霉病从一个病小穗扩展到临近小穗;而另外两个基因 *Fhb4* 和 *Fhb5* 提供抗病病原菌初始侵染的能力,即减少病原菌的初始侵染。

目前,这些基因已经被导入到江苏、四川、山东、河南等小麦主产区的30多个推广品种或育种高代品系中,抗病效果非常明显。许多育成系综合性状表现优异。“我们搞育种的专家和马教授这样的理论专家结合起来就会‘如虎添翼’,通过分子育种,高产小麦品种能够很精准地结合抗赤霉病的基因,而且是‘集成性’的基因,形成了很好的效果。”茹振钢说。

他介绍,双方合作培育的“百农4199”“百农418”小麦品种都是在原有高产的基础上,增加了抗赤霉病的能力。如果加快推广应用,一定会对黄淮海几个省的粮食产量产生很大的推动。

基于目前取得的研究结果,马正强团队对解决我国小麦主产区的赤霉病问题充满信心。不过,他表示,目前仍面临投入不足的问题。

对此,贾继增也呼吁国家在这一方面给予重点资助。他表示,现在通过分子育种,可以大大提高育种效率,缩短育种时间。除了小麦以外,可以在偃麦草等其他植物中广泛地发掘更多的抗源,然后进行培育。他同时建议未来国家提高品种审定的标准,在赤霉病抗性上“把关更严”,再辅以相应的栽培措施和植保手段,我国战胜赤霉病指日可待。

目前,马正强团队还在开展小麦抗白粉病和农艺性状方面的研究。他们希望借助于基因组学等现代生物育种手段,发掘在小麦育种中能起关键作用的基因,认识小麦重要性状形成的机制,为小麦高产、稳产育种提供理论指导和技术支持。

关于何时攻克赤霉病,马正强说,“这一点目前还不好讲,如果各方面能够配套,我们有信心用5年左右的时间,解决我国小麦主产区如河南、山东等地的抗赤霉病品种培育问题”。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0426-7>

如何养活100亿人

快速繁殖技术或奠定基础

■ 本报记者 唐凤

作物改良或许能养活100亿人口,但人们能够足够快地培育出更好的品种吗?近日,澳大利亚昆士兰大学、英国约翰英纳斯中心、中国科学院遗传与发育生物学研究所等机构研究人员发表综述文章,指出快速繁殖和育种技术,能帮助育种人员适应不断变化的环境和不断增长的人口需求,促进诸如基因分型、标记辅助选择、高通量表型、基因组编辑、基因组选择和重新驯化等技术的发展。相关论文刊登于《自然-生物技术》。

在过去的100年里,植物育种生产出了高产作物,维持了人类人口的增长。未来30年,全球人口预计将增长25%,达到100亿。但是,目前主要农作物的增产速度,不足以满足未来的需求。

该研究通讯作者、昆士兰大学农业和食品创新联盟的Lee T. Hickey表示,与1.2万年前第一批谷物被驯化时不同的是,如今的植物育种者有大量的创新技术可以应用于农作物改良工作。例如,自动化高通量表型分型系统的开发使得对更大群体的评估成为可能,这增加了选择强度,提高了选择准确性。

植物繁殖的主要限制因素之一是农作物的长世代,通常一年只有一到两代,这会“中和”通过使用扩展的光周期和控制温度减少作物产生时间的“快速繁殖”。因此,将最先进的技术与快速繁殖相结合,将为养活100亿人口的挑战奠定基础。

“我们在文章中强调了快速繁殖。该技术适用于多种物质,且不需要专门的实验室进行培养。”论文作者之一、中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员高彩霞告诉《中国科学报》,该技术能利用最优的光量、光强度、日长和温度控制,加速植物光合作用和开花,并结合提早的种子收获缩短世代时间。

大约150年前,植物学家首次证明植物可以在人造光下生长。不久之后,科学家评估了连续光照对植物生长的影响,结果发现,在恒定的光照下,包括蔬菜、谷物、杂草、药草和园林观赏植物在内的近100种植物中的大多数开花速度更快。

Hickey指出,对于没有大型设施的研究人员而言,他们也能建立小型、低成本的快速繁殖单位。快速繁殖还可以加速发现作物地方品种和野生亲缘物种的等位基因多样性,并加以利用。

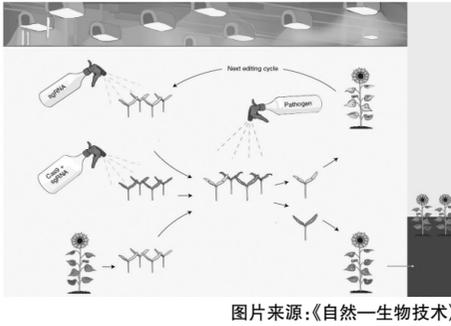
当下,随着LED的发展,快速繁殖得到了更广泛的应用,但速度提升还有多大空间?

该团队表示,快速繁殖的目的是优化和整合影响植物生长和繁殖的参数,以减少世代和观察表型所需的时间,特别是那些在发育后期出现的表型,因此,应注意定制满足不同作物的快速繁殖策略。

打破种子休眠是提高繁殖率的第一步,花期也可以缩短。在植物生长的关键阶段,通过提高温度可以加速植物生长,优化日长和光照质量可以改善繁殖时间线,提高CO₂浓度可以通过增加植物的光合能力提高生产力。

此外,培养农作物养活100亿人,“我觉得除了要重视作物产量,还应该关注作物品质以及抗逆性”。高彩霞说。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0152-9>



图片来源:《自然-生物技术》

■ 环球农业

饲料加海藻,要得要不得?

美国宾夕法尼亚州立大学的研究人员最新指出,用海藻补充牲畜饲料可能会显著减少牲畜打嗝产生的甲烷。但他们同时警告称,这种做法可能不是应对气候变化的现实战略。

“在短期研究中,我们给哺乳期奶牛一种生长在热带的红色海藻——紫杉状海门冬,当饲喂量达到饲料干物质摄入量的0.5%时,甲烷排放量减少了80%,同时对饲料摄入量或产奶量没有影响。”乳制品营养教授Alexander Hristov说,“它看起来很有前途,我们正在继续研究”。

“我们知道它在短期内是有效的,但长期效果不甚清楚。”Hristov解释称,牛瘤胃中的微生物能适应很多东西。微生物可以花很长时间来逐渐适应饲料添加剂,并使其丧失有效性。无论是肉牛还是奶牛,长期研究都需要看看海藻中的化合物是否会继续破坏微生物制造甲烷的能力。

此外,随着时间的推移,海藻中的活性成分溴化物是否依然稳定? Hristov警告道,这些化合物对热量和阳光很敏感,在加工和储存过程中可能会失去其甲烷缓解活性。

适口性是另一个问题。研究人员观察到,奶牛似乎不喜欢海藻的味道——当饮食中的紫杉状海门冬含量超过0.75%时,它们对饲料的摄入量就有所下降。

此外,还需要确定海藻对动物健康和繁殖的长期影响,以及对牛奶和肉类质量的影响。Hristov说,评判牛奶味道

是正在进行的研究的一部分。

Hristov同时表示,如果在饲料中补充海藻是一个可行的方案,那将使全球状况有所不同,因为生产规模是巨大的。世界上有将近15亿头牛,要收获足够多的野生海藻来增加饲料是不现实的。即使把它作为美国9400万头牛的补充,也是不现实的。

“如果想把海藻大规模地用作饲料添加剂,必须在水产养殖中增加这一门类。而收割野生海藻不是一个好的选择,因为这会很快耗尽海洋资源,造成生态问题。”Hristov说。

尽管如此,宾夕法尼亚州立大学的研究生Hannah Stefanoni说,紫杉状海门冬作为饲料补充剂缓解肠内甲烷的能力仍需要关注。他们研究所使用的海藻是从大西洋上的亚速尔群岛采集而来的,并在葡萄牙冷冻,经船运至美国。把4吨海藻冻干并研磨,研究人员认为这是一项规模巨大的工作”。

Hristov补充说,“如果减少肠内甲烷的排放,很可能会提高动物的生产效率,这是在饲料中补充海藻一个潜在的好处。”

牛打嗝,通常被错误地描述为放屁,对甲烷及气候变化的“贡献”一直被美国国内讽刺。因为奶牛平均每年会排出380吨的温室气体。但是,Hristov表示,“畜牧业产生的甲烷只占美国温室气体总量的5%,而能源和运输部门产生的甲烷要多得多。当然,如果有办法在不影响农场盈利的情况下减少排放,我们就应该继续努力。”(王方编译)

■ 动态

“北粳南移”困境被破解

本报讯 近日,中国水稻研究所种质创新课题组从分子设计的角度尝试解决水稻“北粳南移”问题。研究成果对开展粳稻向低纬度地区种植的精准设计育种有着重要意义。相关研究成果在线发表于《植物生物技术》。

感光性是水稻在特定地域环境生长发育的适应特征。长期以来,我国水稻驯化适应形成了以秦岭—淮河为界的“南籼北粳”的种植格局。相对而言,南方的籼稻产量较高,北方的粳稻食用品质更好。为满足人民日益增长的对美好生活的追求,“北粳南移”成为水稻育种改良的重要目标。但是,适应于北方种植的粳稻因为感光性的原因,在南方种植时往往因提前开花导致产量急剧下降。解决粳稻提前开花问题对“北粳南移”具有重要意义。

研究人员选取了123个从1936年到2009年育成的中国主栽大面积推广品种,以分析Hd1单倍型与产量相关性的人工选择。在这些品种中,粳稻主要有2种单倍型(H8和H13),而籼稻则有3种主要单倍型(H14、H15和H16)。等位基因频率分析结果表明,Hd1基因在中国主栽的籼稻品种和粳稻品种中存在不同优势等位基因差异。早期的籼稻品种以H15为主要单倍型,近年育成的品种则以H16和H14为主要单倍型;而粳稻Hd1的单倍型始终以H8为主要单倍型。进一步分析表明,籼型Hd1优势等位基因型H16是现代大穗型水稻育种的优秀单倍型,其在二次枝梗数上有着明显的人工选择趋向。通过分子设计将籼稻H16单倍型导入粳稻品种春江06,在适当延长粳稻抽穗期的同时,显著提高了粳稻春江06在海南种植的穗产量(约增加19.7%),又保证了其粳稻原有的蒸煮食味品质特性。

该研究得到了国家自然科学基金、中国农科院科技创新工程等的资助。

相关论文信息: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pbi.13177>

基因手段“镉”离籼米

本报讯 日前,《国际环境》(Environment International)杂志发表南京农业大学教授赵方杰团队与日本冈山大学教授马建锋合作的最新研究成果。他们通过基因手段,阻止镉向水稻的地上部分和稻米中转移。

由于土壤污染和酸化,我国南方部分地区稻米镉含量超标问题较为严重。镉对人体的毒性较大,且在人体内滞留时间长,会对肾脏和骨骼造成伤害。因此,防止“镉从口入”十分重要。而稻米是我国人口摄入的最主要来源,因此降低稻米镉含量为保障农产品质量和人体健康具有重要意义。

在南方,水稻品种多数为籼稻。与粳稻相比,籼稻稻米镉含量普遍较高,因此,急需研发降低籼稻镉积累的方法。赵方杰团队将水稻本身拥有的OsHMA3基因在我

旱地小麦“一稳四改”集成栽培技术示范验收

本报讯 山西省农科院小麦研究所针对山西旱地小麦产量长期低而不稳的状况,研究成功旱地小麦“一稳四改”集成栽培技术。近日,以国家小麦产业技术体系首席科学家、中国农科院研究员肖世和为组长的专家组,对该项技术示范田进行了实收测产验收。测产结果表明,该项技术较传统技术对照亩增收162.4公斤,增产95.3%。专家组认为,该技术不仅增产稳产,而且实用性强、操作简便,值得大面积推广应用。

据了解,旱地小麦“一稳四改”集成栽培技术,是由国家小麦产业技术体系临汾综合试验

站站长、山西省农科院小麦研究所研究员张定一团队,经过长达10年时间研究试验成功的。“一稳四改”为:选用稳产耐旱广适型小麦品种;改早深耕为适时深耕,增加土壤蓄水;改播种一次施肥为耕种分两次施肥,提高氮肥利用率;改单施化肥为增施有机肥减氮磷肥,提高土壤肥力和保水性;抗旱稳产;改传统播期为适期播种,避免旺长,减少耗水。

记者了解到,为使这一增产技术全面推广,团队在开展测产验收的同时,还在山西临汾市尧都区大阳镇岳壁村举行了现场观摩会。

(程春生)