

# 大豆高产背后的微观世界

■本报见习记者 韩扬眉

孔凡江回国从事大豆研究10年了。如今,“与大豆主产国相比,我国大豆单产较低,关键技术仍有待突破。提高产量是当前我们大豆研究工作者面临的最主要问题。”广州大学分子遗传与进化创新中心研究员孔凡江告诉《中国科学报》。

近日,孔凡江与同事刘宝辉研究员团队,以及中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员田志喜团队等合作,首次系统报道了大豆驯化过程中开花期基因的进化与选择分子机制,并确认了光周期长短的交替影响植物开花的效应。这为大豆分子模块挖掘与设计育种,培育高产、优质的大豆栽培品种奠定了理论基础。相关研究成果在《自然-遗传学》上发表。

## 解决了一个争议

大约5000年前,栽培大豆起源于我国,北纬30°~45° 黄淮海区域的野生大豆驯化为今天的栽培大豆。用大豆加工的食品,如豆腐和酱油等在我国饮食文化中占有举足轻重的地位。

大多数植物必须经过一定时间的日照长度后才能开花。而光周期现象即昼夜周期中光照期和暗期长短的交替影响植物开花的效应。大豆是光周期敏感的高温短日照作物,成熟期是影响大豆产量和品质的重要因素之一。

“大豆对光周期的反应通常影响着成熟期的长短,进而影响产量。具体表现为同一品种在低纬度地区光照时间短,开花期提前,成熟较早,产量低;而在高纬度地区光照时间长,晚开花、晚成熟、产量高。”论文通讯作者之一孔凡江表示。

不过,目前,栽培大豆的范围已大大拓展,既能在高纬度的俄罗斯种植,也能在赤道附近的巴西等国家种植。

大豆是如何降低对光周期的敏感性,而让自己具有了广泛的生态适应性呢?这是自然选择的变异还是人工驯化的结果呢?

论文通讯作者之一刘宝辉告诉《中国科学报》,作物从野生种到农家种的驯化过程经历了一系列性状的人工改良,比如休眠性减弱、种子落粒等,这些性状被称为“驯化综合特征性状”。科学家对于光周期是不是驯化综合特征性状一直存在争论。

研究人员利用基因组学分析、生物信息学和经典正向遗传学相结合的方法,发掘并克隆了调控大豆光周期的两个关键位点 To1f1 和 To1f2。To1f2-1 基因上光周期敏感的位点可能是大豆早期驯化的关键事件,可能与 Sha1-5、Gmh1-1 和 G 基因上对落荚性、种子硬度和休眠性的选择相伴发生。这一结果证实了光周期适应性改变可能是作物早期驯化的重要进化步骤,是大豆作物核心的驯化性状。

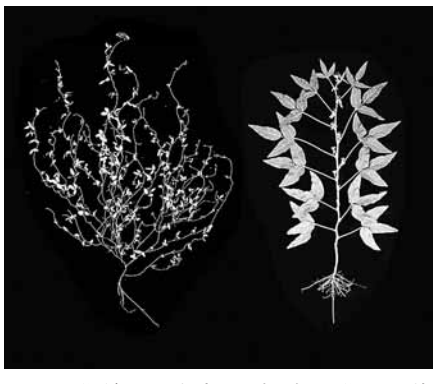
## 来自同源基因的影响

尽管当前大豆种植广泛,但由于其高敏感度的光周期特征,单个大豆品种所能适应的纬度范围很窄。这并不利于大豆品种的推广。

“比如,我们希望北方的品种在南方也能高产。”孔凡江说。然而现实是,哈尔滨的品种拿到广州会提早开花,植株矮小,只长出几厘米,结粒很



古代豆腐加工制作流程



驯化前的野生大豆(左)与驯化后的栽培大豆比较。 刘玉明绘 孔凡江供图

少;广州的品种带到哈尔滨则一直生长不开花,在冬天温度下降时也不能结实。

因此,有哪些基因在调控大豆光周期和开花、调控机制又是什么、如何解决大豆高产与早熟之间的矛盾,这是研究人员一直想解决的问题。

对模式植物拟南芥的研究发现,生物钟核心元件 PRRs 家族基因通过对下游基因的调控,进行着复杂而有序的节律表达,以完成光周期开花。

“在水稻和小麦等作物中,我们发现了与拟南芥同源的 PRRs 基因,在调控光周期途径中发挥着重要作用。我们就想了解该基因在大豆中发挥着怎样的功能。”刘宝辉说。

最终,他们证明,To1f1 和 To1f2 是编码 PRR 类的一对同源基因。To1f1 和 To1f2 通过减弱生物钟基因 LHY 对豆科特有的光周期调控核心 E1 的抑制,导致成花素基因 FT 表达下调,最终延迟开花。据此,作者建立并揭示了大豆中完整的光周期调控分子网络。

在进化机制上,To1f1 和 To1f2 发生了渐进式的变异和人工选择。首先,to1f2-1 的功能缺失突变被强烈选择,并在栽培品种中被迅速固定下来,使得栽培品种的开花期和成熟期普遍提前。在此基础上,to1f1-1 的功能缺失型突变也受到选择,进一步缩短了栽培大豆的开花期和生育期,提高了栽培大豆的适应性。

“在驯化过程中,野生大豆 50% 的遗传多样性在栽培大豆中丢失。因此,要挖掘并明确控制重要农艺性状的关键基因及其分子机制,我们可以试着把野生大豆驯化中丢失的控制优良性状的基因重新“挖”回来,运用到现代分子设计育种中,观察其能否提高产量。”孔凡江说。

## 分子设计推动大豆“绿色革命”

大豆是重要的粮油兼用作物,同时也是人类优质蛋白及畜牧业饲料蛋白的主要来源,在我国粮食结构中占有重要地位。但我国大豆的单产仍然较低,对外依存度高达 85% 以上,是世界最大的大豆进口国。

过去几十年里,由于关键基因的挖掘和杂种优势,水稻、小麦等粮食作物都发生了产量翻番的“绿色革命”。与之相比,大豆产量却始终处在缓慢增长状态。

## 分子设计推动大豆“绿色革命”

## 分子设计推动大豆“绿色革命”

## 分子设计推动大豆“绿色革命”

## 分子设计推动大豆“绿色革命”



发展较快。”钱建平介绍。

在钱建平看来,基于可追溯的食品安全互信体系的建立十分重要,可以减少贸易壁垒,让好的农产品出口到有需要的国家;对打造企业品牌、扩大产品影响力、增加产品附加值、减少贸易摩擦等都有好处。

## 知己知彼有助于互信机制建立

“各国和地区之间的追溯体系建设标准和体系都存在差异,随着中国和欧盟的食品贸易不断增加,更需要分析差异和特点,知己知彼才能有助于追溯系统互信机制的建立。”论文共同通讯作者、资源所研究员吴文斌告诉《中国科学报》。

该团队以政府、公司和消费者协同角度为切入点,对中国和欧盟食品追溯系统进行了对比。结果发现,中欧食品追溯系统都经历了从系统 1.0 到系统 3.0 的发展历程。

钱建平介绍,追溯系统 1.0 大约是在 20 世纪 90 年代~2007 年左右,这个时期以信息记录为主,不管是纸质记录还是电子记录,更多是一种简单的、单环节的信息记录系统。物联网技术的发展和其在追溯系统中的应用成为 1.0 和 2.0 阶段的分水岭,该技术的发展为实现数据、信息快速感知提供重要的基础,可以有条件地进行一些数据的交换和集成。

值得一提的是,从 2016 年至今的追溯系统 3.0,其与 2.0 的分水岭是人工智能为代表的新一代信息技术的发展和应用,能够真正对质量安全和品质保障起到重要依托作用。

“大豆基因研究比较困难。”孔凡江坦承,其中一个原因在于,大豆是由古四倍体演变而来的二倍体自交作物,基因组庞大,约有 56000 个基因,且 75% 的基因以同源基因的形式出现,种内遗传变异程度低、丰富的重复序列使大豆基因组变得十分复杂,遗传转化困难,这羁绊着大豆基因功能研究的进展。

2017 年,孔凡江、刘宝辉和田志喜及其合作者团队,克隆了大豆长童期性状的关键基因 J。长童期性状可在短日照条件下,延长大豆营养生长期并且提高大豆产量。J 基因促进了光周期开花,且该基因突变型可推迟低纬度短日照条件下大豆开花时间,比野生型提高产量 30%—50%。这让大豆可以在热带赤道地区大面积种植和推广。

“两项研究相互补充,是一个持续性的过程,不仅进一步完善了以 E1 基因为关键节点的大豆开花分子调控网络,而且系统阐释了 J 基因促进大豆低纬度适应,以及 To1f1 和 To1f2 促进大豆中高强度适应的多基因进化机制。”孔凡江说,但就庞大的基因组而言,这只是“冰山一角”。

除了光周期,我国还在大豆百粒重、单株荚数、叶柄夹角等产量重要性状的关键基因上取得了较大的进展,也创制了一批大豆优异种质材料,为大豆的分子设计育种奠定了重要的理论基础。

“加快分子设计育种创新体系建设,开展大豆超高产的分子基础和育种技术研究,创制革命性品种,实现大豆的‘绿色革命’,以扭转我国大豆的被动局面。”论文通讯作者之一田志喜说。

田志喜表示,产量、品质等性状大多是多基因控制的复杂性状,而不同复杂性状间的耦合是分子设计育种的关键科学问题。“我们还需要解析复杂性状间耦合的遗传调控网络,明确关键调控单元。基于这些研究,我们可筛选出适宜在盐碱、滩涂、高寒、干旱等边际土地,以及黑龙江主产区以北生长的大豆材料和品质,扩大种植面积,提高产量。”

“目前,大豆的基础研究水平与水稻和玉米等主要作物相比还非常薄弱,还需要国家的更多重视和投入,科研人员团结协作、凝聚力量挖掘更多的重要基因和突破关键技术,把老祖宗留给我们的遗产保护好,并发扬光大。”孔凡江说。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41588-020-0604-7>

## 新农评

近日,《科学》杂志连发 3 篇中国学者文章,呼吁对野生动植物的关注。文章指出,当前政策和法规中对“野生动物”的模糊定义导致执法混乱和漏洞。当前的法律保护稀有的、有益的,具有经济或科学价值的陆地和水生野生生物物种,但并未区分圈养和野生种群。野生种群与圈养种群之间无可区分的差异,为非法野外捕猎后混入养殖并流入市场提供了机会。

今年,国家陆续出台了一系列关于全面禁止非法野生动物交易、一律禁止食用没有列入《畜禽遗传资源目录》野生动物的法规政策,这将有效阻断病毒、细菌、微生物在人类和野生动物之间的传播途径,推动人与自然和谐相处,奠定健康中国法制基础。

值得注意的是,这可能对于尚未明确界定为普通畜禽或野生动物的物种造成巨大影响,比如草鹿。

草鹿包括梅花鹿、马鹿等,主要用途为生产鹿茸。我国草鹿人工驯化、人工养殖历史悠久,近代人工养殖历史约有 300 年,已经成为农业农村重要的特色产业,2019 年养殖梅花鹿平均纯收入 1200 元/只。草鹿产品市场需求巨大。梅花鹿基因组研究发现,鹿茸快速生长与癌症调控通路高度相关,但鹿茸生长是可控的,这或许为未来攻克癌症提供了生物模型。

经过长期发展积累,草鹿产业取得了一定成绩。但是,受国外市场冲击、管理边界不清等诸多因素影响,我国草鹿产品市场份额急剧下降,由 2000 年的 90% 跌至目前的 10%。我国马鹿产业已被挤垮,种群数量降至历史最低点,能繁母鹿比重不足 20%;而梅花鹿产业同样岌岌可危。我国草鹿产业面临重大风险,形势非常严峻。

首先,家养野生种群并存,管理边界难以划分。虽然我国草鹿人工养殖数量巨大,但是至今尚未列入《畜禽遗传资源目录》,没有受到《中华人民共和国畜牧法》保护,由此人工饲养草鹿似乎于法无据。

人工养殖和野生的草鹿,从外观上区分难度较大,给行政管理带来了一定困难,究竟是家养还是野生,是执行《中华人民共和国畜牧法》还是《中华人民共和国野生动物保护法》,容易造成行政、司法边界不清,以致农业农村部和国家林草局就草鹿等动物是否进入《畜禽遗传资源目录》,多年没有达成统一意见。

没有家养鹿和野生鹿的明确草鹿品种界定,既不利于人工养殖草鹿产业的健康发展,也不利于野生草鹿的有力保护,左右为难、两败俱伤。

其次,种质资源保护不足,草鹿种业安全堪忧。种用梅花鹿存栏数量持续减少,经 DNA 检测,“鹿王评比”中的纯种梅花鹿比例不到 8%,我国未来将面临无纯种可用的难堪局面,发展态势令人担忧。

受产业低迷影响,我国草鹿种质资源保护不力,投入不足,种质材料严重缺乏,大部分品种类型已濒危或极度濒危,草鹿种间杂交严重,资源流失严重、品种退化严重,草鹿种业安全危机四伏、令人担忧。

笔者建议,第一,明晰家养野生边界,切实做到分类管理。引入“家养鹿”概念,延伸出“家养梅花鹿、家养马鹿”等涵义,以区分作为野生动物的“野生鹿”以及“野生梅花

# 明晰家养野生边界 确保茸鹿种业安全

■邢秀梅 孔繁涛

鹿、野生马鹿”。

家养鹿和野生鹿要区别对待、分类施策,家养鹿尽快列入《畜禽遗传资源目录》,按照《中华人民共和国畜牧法》进行保种育种和生产经营管理;野生鹿按照《中华人民共和国野生动物保护法》进行依法保护。

要依靠现代科学技术,严格区分家养和野生草鹿种群。中国农业科学院特产研究所特种动物遗传资源创新团队采用 30X 全基因组重测序数据进行聚类 and SNP 分析,可以有效区分家养鹿和野生鹿,为分类管理奠定技术支撑。

第二,实施遗传改良计划,确保草鹿种业安全。尽快启动“全国草鹿遗传改良计划”,组织草鹿种源基地开展草鹿良种登记,构建草鹿信息系统数据库。

建立家养草鹿种源保种场,有序推动草鹿种间杂交,提高良种化水平。以提升草鹿品质和挖掘品种潜力为主攻方向,明确各品种选育方向,推进基因组选择平台,完善专门化品系培育路径,提高种源基地良种推广能力,扩展基层人工授精服务网络,推进“产、学、研、推”育种协作机制创新,整合产业资源,保证草鹿种业安全,促进草鹿养殖持续健康发展。

第三,做好产业顶层设计,加大草鹿扶持力度。抓紧制定《中国草鹿产业发展规划》,理清发展思路,谋划产业布局,划定优势产区,保障种业安全,提升产品自给率,强化政策引领,夯实发展基础。合理布局茸用鹿、肉用鹿、兼用鹿发展路线图。

第四,加大草鹿遗传育种、健康养殖、产品加工、质量安全等领域的科学研究,尽快启动肉用鹿品种培育工程,通过杂交选育、基因组选择等方式,形成具有中国特色的肉用鹿专门品种或品系。充分利用物联网、大数据、云计算和移动互联网等现代信息技术,建立草鹿从种源到产品的全程溯源体系,做到正向跟踪、反向溯源,把好国门关,严禁走私草鹿产品,确保鹿茸食品安全和以鹿产品为基源的中药原料安全,推动草鹿产业和大健康产业的高质量发展。

(作者单位:中国农业科学院特产研究所)

# 食品安全跨国互信,有戏了

■本报记者 张倩彤

曾经的“马肉风波”让爱尔兰、荷兰等欧洲国家的食品安全面临着消费者信任危机,这种“挂牛头卖马肉”丧失诚信的行为并非偶然;而我国茶叶出口也曾因为标准问题屡屡受阻……随着国际间食品贸易量的增加,围绕食品质量和安全的贸易摩擦事件也不断发生。

如何建立不同国家和地区之间可追溯的食品安全互信体系已成为亟待解决的问题。

近日,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所(以下简称资源所)智慧农业创新团队与西班牙马德里理工大学、爱尔兰沃特福德理工学院合作,从中国与欧盟食品安全管理的需求和可追溯系统的现状出发,明确了中国与欧盟食品追溯系统的差异性,相关研究成果发表于《食品科学与技术趋势》。

该成果对中欧之间食品追溯系统互信机制建立具有重要意义,也可为推进现有食品追溯系统的数字化、智能化发展提供有益借鉴。

## 安全互信的可追溯体系可减少贸易壁垒

一谈起猕猴桃,大家就会想到新西兰佳沛,中国已成为新西兰佳沛猕猴桃最大“买主”;当谈到橄榄油,许多人选择产自西班牙的橄榄油……越来越多的进口农产品走入千家万户,消费者最关注的是这些进口农产品品质到底如何,是否健康安全。

食品安全问题已成为重要的全球性问题,这些跨国农产品的质量、品质和安全如何得到保障?它们真实可靠的“身份”信息如何快捷地被消费者获知?

“追溯系统是食品质量安全保障的有效手段,从为应对疯牛病被引入至今已有近 30 年时间。”论文第一作者、资源所研究员钱建平在接受《中国科学报》采访时表示。

近年来,不同国家和地区根据自身的食品质量安全监管需求和食品供应链特点,构建和应用了独立的食品追溯系统。欧盟、美国、加拿大、澳大利亚等国家及地区相继建立了针对牛肉、果品、水产品等的追溯系统。

“我国追溯系统的研究和应用虽起步较晚,但

## 绿色视野

# 科研不打烊,北斗导航农机精准保供

■本报记者 李晨 通讯员 王秀娟

“春节后,因遇新冠肺炎疫情,无法组织大量劳动者下田作业。尤其现在,眼看病虫害高发期即将到来,心里非常着急。”江苏省扬州市江都区宜陵镇韩村农户韩宝龙说,没想到,扬州大学机械工程学院教授张瑞宏团队远程操控的智能除草施肥机“神器”,帮了他的忙。

当前,适逢小麦施肥施药关键期,为确保农户利益不受损害,张瑞宏团队在加紧农机新产品研发的同时,深入田间地头指导农户使用新型农机产品,并通过网络平台与广大农户保持密切联系,指导他们有效治理农田。

张瑞宏从事农业机械开发研究已有 40 年,他的心上一直记挂着农户的生产利益。除草剂是农业面源污染的主要来源,目前我国除草剂已占农药用量的 60%,解决除草剂污染难题已成为我国环境治理的大事,对粮食安全的重要意义不言而喻。因此,开发一种智能化机械除草施肥装备势在必行。

“截至目前,国内外对于精准施肥施药技术的研究主要局限于施肥施药系统,在机械除草、对行施肥、导航作业路径利用等方面研究甚少。”张瑞宏表示。

张瑞宏告诉记者,他们研究开发了北斗导航数字化对行机械除草施肥机,其核心技

术是北斗导航数字化精准化耕播中耕技术。旋耕播种时用北斗导航,中耕时用旋耕播种的路径及地理信息大数据指挥除草施肥机对行精准作业,机械除草沿前面的路径精准导航行走,作业时不压苗不伤苗,并能有效地除掉作物行间杂草,同时将肥料精准施到作物根部。

为了更好地了解此新式农机的工作成效,张瑞宏和团队成员到田间地头观察其除草施肥的效果,讨论改进的方案。

近日,他们来到江都宜陵镇韩村,带着新研发的北斗导航数字化对行机械除草施肥机,在这里大显身手。

除疫情影响,暖冬也影响了小麦生长,导致夏粮抗寒锻炼不够,生育期提前,病源基数大等一系列问题。为了夺取夏粮丰收,张瑞宏带领团队对农户进行了“云指导”,帮助韩宝龙等农户正确应用农业机械,应对小麦生长即将面临的“倒春寒”“病虫害”“干热风”三大难关,及时解决了他们的田间管理难题。

“研究工作的开展将有力推进智能农机装备事业的快速稳步前进,为作物的‘均衡营养’提供保障,为农业可持续发展提供有力的技术支撑。”张瑞宏说。



张瑞宏团队为农户使用智能农机提供远程指导 扬州大学供图