

黑麦缘何成为小麦族的“黑马”

■本报记者 张晴丹

麦类作物里,大家熟知的有小麦、大麦,其实黑麦也非常重要,是欧洲一些国家的重要粮食和饲料作物。欧洲的黑麦面包、俄罗斯著名特产大列巴面包和格瓦斯饮料,都是以黑麦为主要原料制作而成。

黑麦对自然界不良条件有很强的适应能力,这令许多育种家着迷。然而,由于黑麦属于异交作物,具有自交不亲和性,并且拥有极为复杂的基因组,导致其基因组精细物理图谱的组装十分困难,这对于全世界麦类基础和应用研究来说都是一个非常大的挑战。

近日,河南农业大学农学院联合国内多所大学以及科研单位解决了这项难题,完成了黑麦基因组精细图谱的组装,揭示了黑麦基因组结构与演化的独特性及其淀粉合成、储存蛋白、抽穗期和驯化等相关基因的基因组特征,该成果对麦类作物遗传改良具有重要指导作用和实用价值,发表于《自然-遗传学》。

构建高质量精细图谱

栽培黑麦属于禾本科小麦族黑麦属,与小麦和大麦是近亲,是小麦和小黑麦改良的重要遗传资源,也是高效开展小麦族植物比较基因组学研究不可或缺的重要材料。

黑麦可谓是小麦族的一匹“黑马”,因为黑麦在极端的土壤和气候条件下依然能够生长。

“比如高海拔、寒冷、贫瘠土壤等条件,黑麦都能茁壮成长,在这些地方,种植黑麦的效益远高于小麦。”论文共同第一作者、河南农业大学农学院植物基因组学与分子育种中心研究员杨建平告诉《中国科学报》,如果能把这些优异的基因转移到小麦里,就可以帮助小麦“升级改造”。

“利用黑麦为亲本培育出的小黑麦兼具黑麦的环境适应性和小麦的产量潜力,在我国每年种植面积约为450万亩,在欧洲种植面积很大,约有6000多万亩。”论文共同通讯作者、河南农业大学农学院植物基因组学与分子育种中心研究员王道文在接受《中国科学报》采访时介绍。

而且,作为介于小麦和大麦之间的物种,黑麦在进化地位上也至关重要。目前小麦和大麦基因组精细图谱都已经有了,唯独没有黑麦的图谱,科学家意识到,只有把黑麦的基因组彻底解析,小麦族的比较基因组学研究才算完整。

这谈何容易。与小麦和大麦相比,黑麦有一个特性就是自交不亲和,需要异花授粉来传承接代。杨建平指出,这样带来的问题就是,黑麦基因组杂合度很高,相对于其他二倍体麦类基因组,黑麦的基因组更加复杂。

“尽管黑麦基因组与其他二倍体麦类一样只有14条染色体,但大小却将近8Gb,是水稻的25倍、玉米的4



在西藏海拔3900米重度退化草地种植的黑麦作物。武俊喜摄

倍和大麦的1.5倍,是一个非常庞大的基因组,而且有非常多高度相似且串联的重复序列,所以整个基因组测序和组装都异常艰难。”论文共同第一作者、四川农业大学副教授任天恒在接受《中国科学报》采访时说。

“主角”选用的是四川农业大学提供的中国栽培品种“威宁黑麦”。该校20多年前在贵州威宁地区收集到这份“威宁黑麦”品种,并在实验室完成多代自交后产生了“靠谱”的纯合自交系材料。“要做异花授粉植物的基因组测序,没有一个高度纯合的材料做基础是不可能完成的。”任天恒表示。

正是利用“威宁黑麦”,河南农业大学以及四川农业大学、北京大学和百迈客生物科技公司等多家单位,克服重重困难,综合利用多项技术,首次成功构建“威宁黑麦”基因组的高质量精细物理图谱。

“这是目前全世界组装完成的最复杂的二倍体禾本科物种基因组,填补了禾本科物种基因组信息的重要空缺,为作物基因组学研究和重要农艺性状功能解析提供了非常珍贵的遗传信息资源。”王道文说。

黑麦的起源和驯化

有了测序结果,就可以探究黑麦的整个演化历史。

“黑麦最初是一种野草,在形态上与小麦和大麦类似,因此在田间避免了被当做杂草移除,后因其突出的抗旱、抗寒和抗病能力,在小麦和大麦传播过程中得到逐步驯化,从而形成这样一个特殊的麦类作物。”论文

共同第一作者、河南农业大学博士李广伟介绍,通过分析整个黑麦全基因组的驯化位点,他们发现一些基因能够解析栽培黑麦驯化的基因组特征,为黑麦的拟态演化假说提供了分子机制。

黑麦的演化历史有几个重要的时间节点。黑麦与小麦、大麦的共同祖先在大约960万年前~1500万年前发生分化。

在杨建平看来,相较小麦和大麦而言,黑麦的驯化程度相对较低,算是“半驯化”,所以黑麦残留了很多原始基因。自然界经过了一个很复杂的筛选过程,加上植物自身的斗争和抉择,“巧合”地造就了今天的黑麦物种。

在这个复杂二倍体禾本科植物里,科研人员还鉴定到两万多个基因复制现象。他们把黑麦的基因复制与小麦、大麦的做了对比后发现,在整个黑麦进化过程中,发生过两次比较明显的基因组扩张事件。

“一次大约发生在170万年前,这与大麦的扩张时间接近;另一次大约发生在50万年前,这与四倍体小麦的扩张时间近似。”李广伟表示,在进化路上,栽培黑麦的遗传多样性也在不断降低。

在李广伟看来,基因复制能够为基因新功能的分化产生新的资源,而且能够为物种在不同条件下的适应性演化提供一个必要基础,这在一定程度上解释了为什么黑麦能够在一些极端条件下具有突出的抗性和极强的适应能力。

定位功能基因,解析农艺性状

在全世界范围内,6180多万亩的

种植面积生产了11.2百万吨的黑麦。亚洲贡献了全球13%的黑麦产量,其中50%来自中国。

黑麦非常重要,不仅本身是一种农作物,而且提供人工合成异源六倍体和八倍体新物种小黑麦基因组的三分之一或四分之一。

“小黑麦是一种非常有价值的作物,这是由黑麦和小麦进行人为杂交产生的一个自然界本不存在的物种,把小麦的高产特性和黑麦应对极端环境的适应能力集于一身。”王道文表示,小黑麦生物量和籽粒产量远高于黑麦,在全球广泛种植。

杨建平介绍,全世界与黑麦有“血缘”关系的小麦品种占比非常高,目前中国大约50%小麦品种携带黑麦的染色体,该类品种在北方冬麦区和黄淮冬麦区中占据主导地位。由黑麦和小麦远缘杂交产生的1BL/1RS易位系,能显著提高小麦的抗病性和产量,为保障我国和世界小麦生产以及粮食安全起到了至关重要的作用。

此次“威宁黑麦”中共注释到了45596个高可信度基因,这些基因中有1989个抗病相关基因。接下来,研究人员还会挖掘黑麦耐瘠薄、耐旱、耐寒的优异基因。

“我们可以更精确地利用分子标记辅助育种,有目的地把黑麦的优异基因转移到小麦里发挥作用,为小麦遗传改良提供实质性的帮助。”任天恒说。

“这次,我们还找到了一些黑麦驯化背后的基因,比如促进早开花的基因。农作物育种都希望适当缩短作物生育期,在保证产量的情况下尽早开花、提早成熟,这样可以避开后期的自然灾害,也可以节约更多时间为下一茬作物的种植做好准备。”王道文说,以黄淮麦区小麦为例,适当早熟就可以避开6月份的酷热或者暴雨天气。

黑麦很多特殊性状里,有一些与品质相关,比如淀粉合成和储存蛋白,都非常重要。

“黑麦基因组在演化过程中,淀粉合成通路基因发生过多次复制事件,‘威宁黑麦’中有9个淀粉合成基因发生了复制,复制基因的表达方式会发生改变,有可能在籽粒发育过程中发挥不同的功能。”论文共同第一作者、北京农业大学现代农业研究院研究员何航告诉《中国科学报》。

种子储存蛋白对麦类作物加工和食用品质具有决定性的影响。

“与淀粉合成通路基因的广泛复制不同,黑麦储存蛋白基因与小麦和大麦相比,经历了部分基因缺失。”何航指出,如低分子麦谷蛋白,还有一部分醇溶蛋白,这有可能减弱面团的弹性;这些缺失同时促进了高分子麦谷蛋白的合成,可导致面团强度的增加。这些发现可以帮助黑麦、小麦、小黑麦提高品质。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00808-z>



傅廷栋(左三)在现场查看油菜长势。刘涛摄

“影响油菜产业发展的瓶颈是什么呢?关键是效益,这是农民种油菜积极性的根本所在。”近日,在湖北省荆门市沙洋县举行的2021年湖北省油菜花节开幕式上,年年参加油菜花节的中国工程院院士傅廷栋提出,要提高油菜产业效益,首要的是提高规模化和机械化,而规模化是限制机械化的主要因素。

“油菜是湖北省最有种植优势的作物。”傅廷栋回忆说,改革开放之初,全国和湖北的专家论证过湖北省种植作物产业的优势。当时认为,湖北水稻不错,但比不上湖南、江苏;玉米比不过河南、河北、东北;小麦比不过河南;棉花比不过当时的江苏、山东。只有油菜是湖北在全国最有优势的作物。十多年来,湖北油菜种植面积、总产量均保持全国第一就是证明。

傅廷栋认为,新时期油菜产业发展的特色是,以油为主,因地制宜,多功能(油用、菜用、花用、蜜用、饲用、肥用)利用相结合,栽培机械化、轻简化,提高效益,增加农民收入,促进美丽乡村建设。

经济效益问题影响油菜产业发展。傅廷栋说,欧洲、加拿大每公斤菜籽成本约为人民币2元,我国内蒙古海拉尔和新疆伊犁地区油菜籽成本大约也是每公斤2元,而长江流域菜籽每公斤成本约为4元。长江地区菜籽生产成本高于前者一倍,主要问题在于机械化、规模化。

“因此,要提高效益,首要的是提高规模化和机械化,而规模化是限制机械化的主要因素。”傅廷栋说。

他曾查阅资料发现,1929年我国平均一块田的面积有5.7亩,平均每户

是31.5亩;70年后,1999年,我国每一块田平均面积只有1.3亩,户平均是7.95亩。

“每一块田的面积减少了四分之三,每一户的面积也减少了四分之三。”傅廷栋认为,这样分散、小规模的生产模式要实行高效率的机械化生产是比较困难的。因此,根据国家政策,加强土地流转或者托管,发展合作社、家庭农场、种植大户、公司+农户等新型经营主体,对发展油菜至关重要。

谈到提高种植油菜经济效益的主要途径,傅廷栋根据荆门市沙洋的经验概括为:减投增效,机械化、轻简化,推广抗根肿病的油菜新品种等,减少劳力、肥料、农药等投入;质量增效,增加油菜籽单位面积产量、产油量,推广高油酸、高油分的品种等;扩能增效,充分发挥多功能利用的经济效益;加工增效,发展7D加工浓香菜籽油、饼粕精深加工等;品牌增效,如创建荆门荆花牌、农谷高油酸菜籽油品牌等。

动态

大豆进化与驯化表观遗传调控规律获揭示

本报讯 南京农业大学多倍体团队日前在《植物细胞》上发表研究论文。该研究整合三维基因组、染色质可及性、组蛋白修饰、DNA甲基化和转录组,深入解析了在大豆多倍化、二倍化与人工驯化过程中,三维基因组结构重塑如何协同表观遗传修饰调控基因表达和重要农艺性状。

大豆是典型的古多倍体,其祖先与菜豆祖先分化后,又经历一次全基因组多倍化并伴随着缓慢的二倍化过程,导致近75%的基因以多拷贝形式存在。在约6000至9000年前的东亚地区,野生大豆被驯化为栽培大豆,其农艺性状发生显著改变。然而,在大豆多倍化、进化和驯化过程中,表观遗传在调控基因表达和重要农艺性状中的作用仍然知之甚少。

该研究通过多组学分析揭示了大豆多倍化与驯化过程中三维基因组结构的变化和调控作用,为大豆的进化和驯化的表观遗传调控研究提供了新观点。(王方)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1093/plcell/koab081>

研究发现种子成熟调控新途径

本报讯 近日,《植物学报》在线发表了华南师范大学教授张盛春课题组的研究论文,该研究报道了一种在转录后水平调控种子成熟的新途径。

高等植物的种子在成熟过程中积累了大量的贮藏物质作为种子萌发和早期幼苗生长乃至人类食物的重要营养来源,因此,发掘、鉴定种子成熟和种子贮藏物质积累相关的调控因子对于提高作物产量和品质至关重要。目前已

发现的种子成熟调控因子大都是转录因子,而其他的基因表达调控因子,如转录后调控相关基因,在种子成熟中的功能还不清楚。

该研究揭示了RNA结合蛋白A-PUM24通过BPM-WR11模块来调控种子成熟的新机制,对提高作物的产量与品质具有重要的意义。(张晴丹)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1111/jipb.13092>

中外团队实现高效植物病原菌定量检测

本报讯 日前,北京市农林科学院蔬菜中心副研究员张春秋与美国密歇根州立大学教授Rebecca Grumet联合在《植物科学前沿》发表研究论文。研究建立了高通量的实时定量检测病原菌的方法,该方法具有快速、准确、灵敏度高等优点,在病原菌感染后可以迅速检测到病原菌,并且实时定量监测植物活体组织上病原菌的生长变化。

该方法目前已被多个实验室采纳,

证实可以成功应用于瓜类作物黄瓜、甜瓜、西葫芦和茄果类蔬菜作物番茄、马铃薯等疫病病原菌感染过程的实时定量检测。应用该方法监测黄瓜在疫病菌感染过程中的病原菌生长量,结合在病原菌感染关键时间点的转录组数据分析,成功找到了参与黄瓜与疫病病原菌互作过程中关键的基因及调节因子。(王方)

相关论文信息: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637190>

我国农产品加工产业科技贡献率达63%

本报讯 近日,记者从中国农业科学院“科技创新引领农产品加工业高质量发展”新闻发布会上获悉,当前,我国农产品加工领域自主创新能力实现了由整体跟跑向“三跑”并存转变,科技对农产品加工产业发展的贡献率达到63%,为农产品加工业长久稳定发展提供了强有力的支撑。

据介绍,2020年我国农产品加工业营业收入超过23.2万亿元,同比上年增加1.2万亿元,与农业产值之比接近2.4:1,农产品加工转化率达到了67.5%。农产品精深加工、产后减损和绿色供应链

产业化关键技术装备不断取得突破。在生鲜农产品动态保鲜与冷链物流、产地初加工、小麦制粉、低温榨油、冷却肉加工、传统食品工业化等方面取得了一系列技术突破,制粉、榨油、榨汁、畜禽屠宰分割等关键核心装备实现从依靠引进向自主制造转变,自主创新能力明显增强。

农产品加工业引领三产融合发展,显著拓展了农民增收空间。农产品加工与物流保鲜技术的突破,为“安全、营养、美味”健康食品为主导的农产品加工业和现代流通业发展提供了有力的科技支撑。(李晨)

绿色视野

粉垄技术要扎得深拓得宽

■本报记者 秦志伟

韦本辉是广西农业科学院经济作物研究所研究员,粉垄技术发明人,在从海南调研盐碱地刚回到广西南宁时,得知其作为第一作者的论文在钱发发表于英国《农业展望》,他非常开心,“向粉垄技术扎得深又迈出了了一步”。

上述论文称,粉垄技术是一种在中国最近发展起来的高效的耕作方法,将会对中国和世界的食品安全与农业生产产生重大和积极的影响。

农业不同于其他行业,农业技术更需要用户“看得上”“真喜欢”。为此,韦本辉及其团队在“深”上用力的同时,更在“宽”上下功夫。“该方法已在26个省份应用于40种农作物,单季增产达到10.0%~54.8%。”韦本辉说。

增产效果显著

关于粉垄技术的报道并不少,《中国科学报》记者了解到,粉垄技术的研究已有10年。

所谓粉垄技术,是指由自主研发的“钻头”耕具替代传统“犁头”,通过螺旋形钻头、空心两刀钻头、粉垄耕具,使耕层深度根据农作物需要达30~50厘米。相比于传统耕作方法,粉垄技术使耕层加深1倍以上,突出特点是超深耕深松不扰土层、土壤粉碎呈颗粒状悬浮且团粒结构表面光滑、一次性完成整地任务。而这是粉垄技术“深”的一方面。

“它属于物理性、低成本技术,破解了传统耕作浅耕、翻耕、深翻生土上翻、土壤块状等难以改变土壤生态环境的难题。”韦本辉告诉《中国科学报》,就目前我国农田耕层而言,“平均厚度只有16.5厘米,其增产潜力难以进一步发挥”。

这么多年,韦本辉及其团队走遍全国26个省份开展试验示范,进一步验证他们的想法。

韦本辉介绍,他们团队和中国科学院、中国农业科学院等单位合作,在粉垄发源地广西宾阳邹圩,粉垄甘蔗10年持续增产,最高亩增3.1吨、增产35%;在西藏南宁市,粉垄青稞增产20.3%、秸秆增产41.1%;在湖南沅江,稻田粉垄水稻增产26.5%,粉垄1次后的第4年增幅12.2%;在河北盐山县,粉垄小麦零灌溉增产27.6%、第二茬玉米零灌溉增产10.47%……上述部分结果相继发表于《土壤学报》《土壤》《中国农业科学》等。

截至2020年底,韦本辉团队在26个省份的水稻、玉米、小麦等40余种农作物上试验推广该技术,效果甚佳。为此,韦本辉等总结了“粉垄定律”并发表于《亚洲农业研究》,进一步加深粉垄技术理论的科学内涵。这也是“深”的另一方面。

据不完全统计,研究人员围绕粉垄技术,申请发明专利30多件,其中已授权20多件;出版专著5部、发表

“广西甘蔗原料亩增1吨关键技术粉垄‘145’模式研究与示范”项目测产现场,测产结果显示,粉垄甘蔗每亩产量5164.8公斤,比深翻旋耕、旋耕分别增加16.7%和38.3%。韦本辉供图

论文近百篇;发布水稻、玉米、小麦、甘蔗等作物栽培标准7个。

在“宽”上下功夫

但粉垄技术并没有只停在增产层面,研究人员还将其研究拓宽到提质、保水、减碳等方面。

韦本辉向《中国科学报》介绍,经相关权威部门检测,粉垄水稻稻米蛋白质达10.2%、增幅14.61%;粉垄甘蔗蔗糖分达15.02%、增幅7.59%;粉垄大豆蛋白质含量达39.2%、增幅12%;粉垄马铃薯粗淀粉含量比对照增加7.19%……

“粉垄作物生理生态具有独特活力,生物量大幅增加对固碳减排和改善生态环境有利。”他进一步介绍道,粉垄作物由于根系发达、植株高大、后劲足,生物量一般可增加20%~30%,最高可达40%以上,如西藏南宁市粉垄



论文近百篇;发布水稻、玉米、小麦、甘蔗等作物栽培标准7个。

青稞秸秆生物量增加达41.1%。

值得一提的是,粉垄技术还可用于盐碱地改良、草原退化改造等,这是其应用领域的进一步拓宽。例如,在新疆尉犁县重度盐碱地粉垄耕作后,碱化度降低41.1%,棉花增产48.8%;在内蒙古通辽市粉垄改良重度盐碱地草原130天后,牧草亩产512.4公斤,增幅达116.6%。

“基于粉垄耕作不扰土层的特点,已发明粉垄全层耕、间隔性条带全层耕、植被保护性底层耕、植被保护性侧边底耕等,可满足对旱地、稻田、盐碱地、荒漠化土地、退化草原改造等需求。”韦本辉说。

接下来,韦本辉团队将进一步加强粉垄“立体空间资源”的科学理论研究。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1177/00307270211001881>