

破译复杂基因组 解码裸燕麦“中国芯”

■本报记者 李晨

作为一种分布于五大洲 42 个国家和地区的世界性栽培作物,燕麦分为皮燕麦和裸燕麦两种。其中,裸燕麦独立起源于我国并广泛种植,被国人亲切地称为“莜麦”。

7 月 18 日,《自然—遗传学》在线发表了六倍体裸燕麦高质量基因组图谱,打开了裸燕麦基因组大门。

“这项研究全部由中国人自己完成。深入研究中国特有的燕麦种质资源,就是希望牢牢将种质资源握在我们自己手里,让燕麦品种装上更多‘中国芯’。”国家燕麦荞麦产业技术体系首席科学家、领衔该项研究的吉林省白城市农业科学院研究员任长忠说。

论文审稿人认为,“该基因组是迄今为止测序的所有物种中最复杂的基因组之一”,“代表了植物基因组学特别是谷物基因组学的重大进展”。

与全世界同行赛跑

燕麦富含蛋白质、不饱和脂肪酸以及可溶性膳食纤维,能同时满足人们对膳食营养和保健两方面的要求。

皮燕麦籽粒是带稃型,稃草与种子紧密地连在一起,成熟后也很难脱离;而裸燕麦籽粒为裸粒型,稃草特别软,成熟后与种子自然分离。相比于皮燕麦,裸燕麦加工工艺更加简单,具有更高的蛋白和粗脂肪含量,且氨基酸组成更加平衡,极具研究价值。

目前,世界各国的栽培种以皮燕麦为主。而我国主要种植裸燕麦,主产区集中在内蒙古、河北、山西、青海、甘肃、吉林、陕西、宁夏和新疆等地,云、贵、川、藏也有小面积种植。其中内蒙古种植面积最大,达 400 多万亩。近年来,中国燕麦产业正以年产值 20%以上的增速快速发展。

“燕麦籽粒的皮裸性状是重要的驯化性状之一。”论文第一作者、四川农业大学教授彭远英告诉《中国科学报》,作为六倍体作物,燕麦在生物量、活力和对环境变化的适应性方面均具有显著优势,在应对粮食安全挑战中可以发挥独特作用。

论文通讯作者任长忠认为:“中国作为裸燕麦的起源和种植中心,具有独特的种质芯片竞争优势。源于中国的裸燕麦基因组测序工作应该由中国人率先完成,这对提升国内燕麦产业竞争力、保障粮食安全等都具有重要意义。”但燕麦是六倍体作物,具有基因组大、重复序列含量高等特点,导致其基因组测序组装成为世界难题。



裸燕麦(莜麦) 受访者供图

“10 年前,国外同行就开始做皮燕麦的基因组测序研究,但由于难度较大,迟迟没有结果。后来,来自英国、德国、美国、澳大利亚、瑞典、加拿大等国家的国外研究燕麦的同行联合起来,与已经破译大麦、小麦基因组图谱的科学家一起攻克燕麦基因组难题。”彭远英说。

在我国,任长忠领衔的团队长期从事燕麦研究,积累了丰富的经验。尤其是近 20 年来,彭远英团队等一直专注研究燕麦属物种的起源与进化,为进行六倍体燕麦的基因组测序奠定了良好基础。

2018 年,在国家燕麦荞麦产业技术体系和国家自然科学基金等项目的支持下,四川农业大学—吉林省白城市农业科学院燕麦联合研究团队与中国科学院遗传与发育生物学研究所、四川大学、西昌学院、中国农业科学院和武汉希望组生物科技有限公司等合作,正式启动裸燕麦基因组测序工作。

这支完全由中国科学家组成的燕麦研究团队,面对的竞争对手是由其他国家的燕麦研究者组成的联合团队。“这给我们的相关工作增加了紧迫感。”彭远英说。

破译复杂基因组

现有的栽培燕麦已经在漫长的进化过程中自然杂交和加倍,从二倍体形成四倍体,最终多倍化为含有 A、C、D 3 个基因组的六倍体。裸燕麦基因组由约 110 亿个碱基对组成,分布在细胞核 3 个亚基因组的 21 对染色体中。其基因组庞大而复杂,体量约为水稻基因组的 40 倍,且有大约 87%的基因组 DNA 为重复序列,致使其基因组测序组装研究非常困难。

那么,如何另辟蹊径,赶超汇聚了全球最

强科研力量的国外团队?

彭远英告诉记者,针对六倍体燕麦亚基因组构成及其高重复序列含量导致的组装难题,他们选用了高精确度的超长测序技术,并以栽培燕麦最可能的四倍体和二倍体祖先的基因组作为参照,成功完成了六倍体栽培燕麦的基因组组装。

此次发表成果正是以我国裸燕麦起源中心的地方燕麦品种“三分三”为材料。通过对“三分三”的研究,研究人员绘制出了燕麦基因组 21 对染色体的分子图谱,注释出了 12 万个蛋白编码基因,获得了裸燕麦的高质量参考基因组图谱。

论文投稿到《自然》后,获得了高度评价。一位审稿人认为,该基因组的组装和注释,以及伴随而来的基因组和重测序资源都有很高的质量。“三分三”基因组具有足够的新颖性,因为这个基因组在遗传地位上相当独特。

另一位审稿人则表示,这项工作提供的数据和分析具有高度新颖性,为大型多倍体基因组的进化提供了新的见解。

一个月后,国外同行联合完成的皮燕麦基因组图谱也投稿到了《自然》。

任长忠说:“我们中国团队顶住压力,抢先完成了这项研究成果。”

燕麦研究迈入基因组时代

获得高质量基因组图谱后,彭远英最想知道的就是燕麦的进化历程。“燕麦从何进化而来,这一直是科学上的一个谜。”这也是她多年来研究的主题之一。

他们选择了能代表燕麦属现存所有基因组类型的物种,结合水稻、小麦等其他近缘属种,从全基因组层面解析了燕麦在主要禾谷类作物中的进化地位,以及栽培燕麦的起源和多倍化历史。

结果发现,燕麦族和小麦族之间的分化发生在稻族形成之后,且燕麦族与多花黑麦草的亲缘关系比燕麦族与小麦族的关系更近。燕麦属物种约在 800 万年前产生。而在约 50 万年前,也就是人类旧石器时代,六倍体栽培燕麦通过 AA 基因组二倍体和 CCDD 基因组四倍体杂交加倍形成。

“深入了解燕麦的进化历史将极大地促进渗透育种,并将有益性状从与燕麦最接近的现存野生亲缘种转移到栽培燕麦,有力推动燕麦优良品种的选育工作。”彭远英说,有了基因组图谱,我国裸燕麦的育种和遗传研究就会进入快车道。

(下转第 2 版)

第 11 届吴大猷科学普及著作奖揭晓

本报讯(记者李芸)记者 7 月 18 日从吴大猷学术基金会获悉,第 11 届吴大猷科学普及著作奖评选工作已全部完成。中国科学报社推荐的宋宁世著作《计量单位进化史:从度量身体到度量宇宙》获创作类银签奖,李孝辉著作《时间的真相》获创作类青少年科普特别推荐奖。

吴大猷科学普及著作奖是海峡两岸最重要的科普奖项,由吴大猷学术基金会主办,中国科学报社、Openbook 阅读志合办。该奖项每两年举办一次,目的是在中文科普著作中选拔优良书籍、推广科学教育,以信(内容丰富正确)、达(表达清楚)、趣(吸引读者、可读性高)为评选标准。

在本届评选过程中,大陆地区共征集图书 298 册,台湾地区收到报名书籍 278 册。两地各自

经过初评、复评,共推荐 20 本著作进入决选。本届决选委员会由中国科学院院士刘嘉麒和“中研院”院士杨洋池、曾志朗、陈力俊、江安世、叶永烜组成,并于近日通过视频+现场形式举行决选会议,最终选出创作类金签奖、银签奖各一名,翻译类金签奖、银签奖各一名,青少组特别奖 3 名以及佳作奖 16 名。

台湾地区作品《被遗忘的拉美——福尔摩沙怀旧植物志》《我的野蛮室友:细菌、真菌、节肢动物与人同居的奇妙自然史》分获创作类和翻译类金签奖,《眺望时间的尽头》获翻译类银签奖。

大陆地区的初评、复评工作由中国科学报社组织,复评委员会由欧阳自远、刘嘉麒、欧阳钟灿、周忠和以及郭传杰、武夷山、王扬宗、王洪波等院士专家组成。

最新实验检验量子网络非局域性

本报讯(见习记者王敏)中国科学技术大学郭光灿院士团队李传锋、柳必恒研究组与合作者使用超纠缠实现基于对称联合测量的纠缠交换,并研究了双局域贝尔不等式和全量子网络非局域性。相关成果日前发表于《物理评论快报》。

贝尔非局域是量子力学和量子信息科学的重要基础。近十多年来,对非局域性的研究不再局限于两体问题,而是转向更复杂的结构。这类实验涉及多个独立的纠缠源,实验中将这些纠缠源进行多方分发和纠缠测量并最终形成非局域量子网络。由于量子网络所展示的非局域性突破了传统贝尔实验的框架,因此在理论和实验上均存在巨大挑战。

目前,实验上连接独立纠缠源的纠缠测量主要是利用标准的贝尔态测量。对称联合测量是一类重要的纠缠测量,与贝尔态测量有着本质上的不同。它具有对称性,可以作为一种量子信息资源进行利用。任意的对称联合测量需要控制非门和控制相位门的级联操作,这给只能概率性实现

不同光子间的控制门的线性光学量子网络带来非常大的挑战。

实验中,研究组首先制备出一个超纠缠对,产生的两个光子的态分别在偏振自由度和路径自由度上存在纠缠。然后,他们在同一个光子的偏振自由度和路径自由度上通过一个通用量子线路来实现任意的对称联合测量。由于同一个光子的不同自由度之间可以实现确定性的控制门,研究组自行设计的偏振—路径交换装置实现了任意的对称联合测量。实验结果表明,该对称联合测量的保真度达到了 97.4%。

研究组利用对称联合测量实现了纠缠交换,并研究了双局域贝尔不等式和全量子网络非局域性,实验结果展示了与标准贝尔态测量的非局域量子网络完全不同的性质。

该成果证明了不同的纠缠测量会构造出不同优势的的非局域量子网络,为构建不同结构的非局域量子网络提供了一种技术路线。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.030502>

问天实验舱近日择机实施发射



7 月 18 日,海南文昌,问天实验舱与长征五号 B 遥三运载火箭组合体在转运途中。 图片来源:人民视觉

据新华社电 问天实验舱与长征五号 B 遥三运载火箭组合体 7 月 18 日转运至发射区,将于近日择机实施发射。

据中国载人航天工程办公室介绍,后续将按计划开展发射前的各项功能检查和联合测试等工作。(李国利 张瑞杰)

第二次青藏高原自然灾本底首次系统查明

本报(见习记者杨晨)2017 年 8 月,第二次青藏科考启动,5 年过去,取得了哪些标志性成果?7 月 15 日,第二次青藏科考防灾减灾学术交流会在成都举行,与会专家就防灾减灾、灾害预测相关研究成果进行了交流研讨。

中国科学院院士、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所研究员崔鹏表示,此次科考中,首次系统查明了青藏高原自然灾害本底,建立了完善的青藏高原自然灾害数据库。同时,创建了灾害演化过程精细监测与分级预警系统,构建了综合减灾理论与技术体系,把灾害宏观的分

区分级预报提升到精细化险情预报。“研究成果将服务于高原地区重大工程和城镇建设的避灾规划设计、防灾减灾部署。”

认知青藏高原灾害天气发生、发展前兆性强信号是灾害天气预报预警的关键环节。中国科学院院士徐祥德剖析了青藏

高原降水过程对流结构特征和丰富云水资源成因,揭示了“亚洲水塔”水资源环境对气候变化的响应。

灾害发生后,山洪泥沙耦合作用是造成重大人员伤亡的重要原因。中国工程院院士、四川大学常务副校长许唯临指出,山洪泥沙耦合致灾规律与单纯洪水灾害规律有本质不同。只有厘清山洪泥沙耦合灾害防治中面临的科学问题,才能建立山洪泥沙耦合运动模拟方法和致灾仿真模型。在此基础上,构建山洪泥沙灾害治理原则,研发相关工程治理系列关键技术,能解决我国山洪泥沙耦合灾害防治问题。

多年来,青藏高原冰川冻土加速消融,也引发了一系列自然灾害。中国科学院西北生态环境资源研究院冻土工程国家重点实验室常务副主任牛富俊指出,从工程角度看来,在青藏高原暖湿化的背景下,多年冻土对气候变化的响应是直接且显著的。科考分队深入高原核心区冻土环境考察,完成了青藏高原多年冻土区热融灾害本底普查,揭示了青藏高原多年冻土区冻融灾害近几十年来加剧的事实。

未来,在气候暖化、地震活跃和人类活动加剧耦合作用下,高原灾害风险加剧,防灾减灾面临巨大挑战和机遇。崔鹏表示,青藏高原灾害研究应以防治应以地球系统科学为主线,聚焦多圈层相互作用致灾机制,探索巨灾孕育、形成、运动、致灾的风险演化规律,构建多灾种灾害综合监测预警技术体系,提升自然灾害风险防范能力。

促进生态碳汇倍增 筑牢“双碳”战略“压舱石”

■于贵瑞

“双碳”战略已成为新时代标志性的国家战略目标。它不单单是中国参与全球环境治理、应对气候变化的政治承诺,也是一场广泛而深刻的经济社会发展模式的系统性变革,更是一场新的科学技术革命。

从全球范围看,“双碳”行动是中国为推动人类命运共同体构建而作出的郑重承诺。当前应对全球气候变化、保护生物多样性的实现可持续发展,已经成为国际共识。中国实现“双碳”目标不仅有助于解开这三个目标形成的“连环套”,还将助力塑造全球的未来发展路径。

从国内来看,“双碳”行动是应对百年未有之大变局,实现未来中国社会变革、科技发展和民族振兴的宏伟举措;是改变经济社会发展模式、催生新型脱碳经济的倒逼机制;是驱动中国生态文明建设、实现建设社会主义现代化强国发展目标的新引擎。然而,由于时间短、任务重,中国要实现“双碳”目标必然会面临巨大挑战。

一方面,发达国家已经过了农业及工业的快速发展阶段,开始进入经济增长模式转型期,其碳排放也随之达到了峰值甚至进入下降状态,进入向碳中和目标过渡的新阶段。根据中国的“双碳”战略,留给我国完成碳达峰再到碳中和的时间不到 40 年。在如此短暂的时间内,中国要实现能源和经济发展的绿色转型,势必要经历一个艰难甚至至是阵痛的过程。

另一方面,中国作为发展中大国,近四五十年的发展是由高强度资源开发及高能耗驱动的。例如,中国的国内生产总值(GDP)已连续两年超过 100 万亿元,但二氧化碳排放量也达到 100 亿吨。简单类推,我国要实现在“第二个一百年”建设成为社会主义现代化

强国的目标,到 2050 年,GDP 还须在现在基础上翻两番,届时二氧化碳年排放量将会更高,这种发展前景是人们无法接受的。由此可见,未来的减排任务十分艰巨,实现经济发展与碳排放的脱钩将面临严峻挑战。

如何解决减碳与社会经济发展的矛盾?如何制定技术可行、经济有效的行动方案?这些都是极具挑战性的重大战略问题,也是统筹社会可持续发展、生态文明建设及环境治理的重大科技问题。

作为国家战略科技力量主力军,中国科学院肩负着以科技支撑“双碳”战略行动的重大责任。今年 3 月,中国科学院启动实施科技支撑“双碳”战略行动计划,旨在围绕国家的碳源汇问题,开展系统性、整体性的集成研究,打破技术瓶颈,实现跨领域突破,为我国实现“双碳”目标提供科技支撑。

中国科学院的“双碳”行动计划要做些什么?如何做?我认为可以归纳为“两个系统”和“十六字”方针。前一个系统是基础理论问题,重点回答碳源汇的形成和调控机理是什么;后一个系统是实践应用问题,回答如何跨越行政区进行全国国土空间统一布局。“十六字”方针是监测、评估、认证、预测,减排、保护、增汇、封存。在这个基础上,如果能建立服务于“双碳”目标的科学数据库、模拟系统和计量系统,进行生态碳汇的认证和预算,就可以为国家提供相应的宏观决策和分析基础。

所谓碳中和,即“人为碳排放量=自然生态固碳+生态措施固碳+地球工程固碳”,达到一个平衡。正如丁仲礼院士所说,实现这样的平衡需要“三端发力”,即能源生产端的脱碳、产业消费端的减排、生态固碳端的增汇。

以生态固碳端为例,根据中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(简称“碳专项”,2011~2015)16000 个调查样地的清查成果,中国陆地生态系统固碳能力为每年 10.96 亿吨二氧化碳。综合同期各种研究和判断,近 10 年来,中国陆地生态系统固碳能力保守估计为每年 10 亿~13 亿吨二氧化碳。中国陆地生态系统碳汇能力能否实现在现有基础上的倍增目标?种种迹象表明是有可能的!

实现生态碳汇倍增,首先需要保住现有基础,进一步统筹海陆全域国土空间,发挥森林、草原、湿地、滨海固碳作用。这方面有很大潜力可挖,比如,城市绿化面积的增加、人工造林的继续发展、海洋牧场的建设等,都可以增加一部分碳汇。通过进一步系统论证,还可补充一部分被忽视或遗漏的核算。此外,当前我国森林平均年龄为 30~40 年,通常林龄<80 年的森林均具有较强碳汇能力。再加上“天帮忙”——随着近年来气温升高,中国区域降水量增加,氾沱降也在增加,预期生态系统碳汇将进一步提升。通过多种途径,中国区域生态系统碳汇能力有望达到每年 20 亿~25 亿吨水平,具有实现倍增的潜力。

也就是说,未来通过提升生态系统碳汇,加上每年采用工程性碳捕获、利用及封存技术固持 5 亿~10 亿吨二氧化碳,将能为国家发展留出 30 亿吨左右的碳排放空间,这对于降低“双碳”行动的经济成本和抵御社会风险具有战略意义。

实现生态碳汇倍增目标,需要有强大的科学后盾。亟须突破的瓶颈是强化科学基础知识,开展系统深入研究。在科学基础方面,目前生态系统碳汇的科学原理尚未完全明晰,

概念上仍然支离破碎。例如,生态碳汇科学原理涉及生态系统的碳循环、气候变化与碳循环之间的互作关系以及人类活动如何影响碳循环。当前相关理论和方法依然停留在学界讨论中,尽管已经发表了很多文章,但缺乏系统性,一些碳汇基础理论尚未得到广泛认可,难以在全域国土空间范围内大面积推广或实施。

相关知识的系统化,需要把整个中国国土空间当作一个大系统来认知,通过网络化动态观测获取基础科学数据,理解整个海陆碳循环机理,模拟评估全组分、全统计口径、全区域的生态系统源汇格局及动态演变。其工作目标是实现“五个更”:对科学问题的认知更接近真理,对中国碳汇分布情况及增长潜力的了解更精确,对碳源汇功能格局和演变的模拟预测更准确,人为努力使得生态系统固碳能力更强大,用更扎实的科学理论和技术支撑国家环境治理及“双碳”战略行动的实施。

中国陆地生态系统具有巨大固碳能力,实现生态碳汇倍增目标,必将在国家碳达峰、碳中和行动中发挥“压舱石”“稳定器”的重大作用。实现“双碳”战略目标需要降碳、减污、扩绿和经济增长的有机联动。这不是一件简单的事情,也不是哪一个机构或企业能单独完成的,需要政府、企业及民众共同努力。

(作者系中国科学院院士、中国科学院地理科学与资源研究所研究员,本报记者冯丽妃采访整理)

