

## 农科视野

# 基因组图谱解码棉花纤维品质改良

■通讯员 刘涛 本报记者 李晨

“想让棉花纤维又长、又细、又强,很难。有时提高了纤维长度,产量又下来了。”华中农业大学棉花遗传改良团队负责人张献龙教授告诉《中国科学报》,通过解码棉花基因组,可以深入了解棉花种的起源进化,以及棉花纤维品质形成等重要农艺性状的遗传基础,为改良棉花品质提供科技手段。

近日,《自然-遗传学》在线发表了张献龙团队最新研究成果,他们联合海外研究团队,共同解析了异源四倍体栽培种陆地棉和海岛棉的参考基因组序列,为棉花基因组进化和功能基因研究提供了重要参考。

### 重要的经济作物

“棉花是唯一果实被称为花的植物,既可在春季种植,也可在麦后的夏季种植。它是上世纪八九十年代我国农民最重要的经济来源之一。”论文第一作者、华中农大棉花遗传改良团队教授涂礼莉告诉记者,以前,在江汉平原、在天山南麓,几乎家家户户都种棉花,放眼望去,整个田野几乎都是棉花的世界。

在我国的棉花栽培历史上,曾先后种植过四个栽培品种,即海岛棉、亚洲棉、陆地棉和草棉。目前我国种植的棉花多为陆地棉,在新疆还种植有少量海岛棉。

如今,棉花依旧是我国主要的大田经济作物,常年种植面积7000万亩,年产700万吨,产值1100多亿元,事关国计民生,也一直备受国际棉花研究界的关注。

虽然我国栽培陆地棉已有百余年,但育种一直是“摸着石头过河”。论文通讯作者张献龙告诉记者,目前,我国所产原棉95%来源于陆地棉,“它适应性强、产量高,但纤维长度偏短、易得黄萎病。除了陆地棉,海岛棉亦从国外引种,具有纤维长、细、强和抗黄萎病等优良性状,但适应性差,主产区在新疆部分地区”。

长期的人工驯化,显著改变了陆地棉的性状。“比方说,野生种纤维略带棕黄色,而驯化种能产生白色纤维”,张献龙说,长期以来,科学界很少有研究剖析这些性状改变的遗传学基础。“另一方面,中国的陆地棉遗传资源狭窄,同质性较高,成为遗传育种的瓶颈。”

为了改良棉花纤维,实现又长、又细、又强,并保证产量,课题组提出一个设想,那就是将海岛棉的优良纤维基因引入到陆地棉中,利用海岛棉基因资源提升陆地棉纤维品质和抗病性。

去年3月,他们的成果“棉花驯化过程中的



张献龙(中)在新疆考察海岛棉生长情况 金双侠摄

作物遗传改良国家重点实验室里的棉花苗 刘涛摄

不对称亚基因组选择和顺式调控分歧”曾发表于《自然-遗传学》。当时,他们从DNA水平上,对已有育种工作进行了总结和全面分析,摸清了一些关键基因位点,例如什么基因能让棉花纤维又长又白。这提高了遗传育种的预见性。

### “一个团队”与“一朵棉”

张献龙团队所在的华中农大,其棉花研究可追溯至20世纪30年代。以杨显东、孙济中等教授为代表的学者带领一代代棉花研究团队。1985年,22岁的张献龙在孙济中教授的指导下开始棉花生物技术研究,并专注应用于棉花遗传改良。

1998年,张献龙接棒成为棉花团队“掌门人”,他开始组建团队,并带领团队从资源创新入手,拓宽资源遗传背景,制定了用纤维优、综合抗逆强的海岛棉改良陆地棉的育种策略;通过基因发掘、基因组解析进行棉花育种技术创新。

此外,张献龙将现代生物技术与常规育种手段相结合,创建了棉花生物技术育种平台,为我国棉花遗传改良和产业可持续发展提供了有力支撑。

张献龙始终瞄准国际前沿,不急不躁,潜心科

研,带领团队终于掌握了成熟的棉花细胞培养技术体系,创造了多项国际第一:首个从雷蒙地棉、克劳茨基棉等野生棉细胞获得再生植株,首次从克劳茨基棉等野生棉原生质体再生植株。

在此基础上,通过集合远缘杂交、细胞工程和常规育种评价等技术,筛选出一批早熟、高产、优质及多抗的棉花新品种。“华杂棉1号”等9个棉花新品种,并大面积推广,解决了棉花品种在产量、品质和抗性方面难以同步改良的问题,先后获得国家科技进步奖二等奖1项,省部级一等奖2项,取得了丰硕成果。

### “一张图”看透棉花品质改善

棉纤维是一种良好的天然纺织纤维,具有较好的吸湿性。涂礼莉告诉记者,在正常的情况下,纤维可从周围的大气中吸收水分,其含水率为8%-10%,所以它接触人的皮肤,人会感到柔软、不僵硬。

“相反的,如果棉布湿度增大,周围温度较高,纤维中含的水分会全部蒸发散去,使织物保持平衡状态,使人感觉舒适。”涂礼莉说。

全球每年天然纺织纤维产量的90%以上源

于异源四倍体棉花,即陆地棉和海岛棉。陆地棉因其产量较高,广泛种植于世界各地,海岛棉则因其优异的纤维品质而备受珍视。

论文第一作者、华中农大棉花遗传改良团队王茂军博士介绍,将海岛棉中控制优异纤维品质的遗传片段导入到陆地棉,改良陆地棉的纤维品质,是华中农大棉花遗传改良团队长期坚持的目标。

“尽管我们已从海岛棉中克隆了一系列功能基因,但这两个棉花基因组存在什么样的差异,究竟哪些基因组片段控制海岛棉优异纤维品质的形成等仍不清楚。”王茂军说,两个棉花的基因组单图已经发表,但是由于组装质量和完整性不高,很难直接从全基因组水平进行比较。

“通俗地说,组装质量和完整性不高的基因组单图可能会出现将研究者带‘偏’的情况。”涂礼莉说。

为了得到精细的基因组序列,他们利用第三代测序技术、光学图谱技术和染色质高级结构捕获技术进行联合组装。

与此前最新发表的基因组单图相比,这项研究组装的基因组序列,在连续性和完整性上有极大提高,陆地棉基因组、海岛棉基因组的连续性分别提高了55倍、90倍。

张献龙认为,这项研究成功组装了高度重复的基因组区域,通过比较两个棉花四倍体种的基因组,发现二者存在大量的结构变异。两个异源四倍体栽培种各有26对染色体,研究发现,两个棉花种的14条染色体之间存在染色体臂内和臂间的大片段倒位现象,也就是说“两个棉花种之间基因组差异很大”。

科研人员还对陆地棉和海岛棉之间的遗传导入系材料进行基因组分析,鉴定了13个控制纤维品质的遗传位点,探究了遗传位点的表达调控机制。

涂礼莉也向记者表示,这项研究为今后通过海岛棉改良陆地棉的种间渐渗育种提供了参考:“也就是说,这张基因组图解决了棉花研究人员的‘工具’问题,对加快改善棉花品质研究的进程具有重要意义。”

对于棉花纤维品质的提高,人们能否在衣着上直观感受?张献龙教授举例说,普通棉衬衣所用的面料,纤维长度一般在28毫米左右;而海岛棉纤维特别细长,制作成高档衬衣,价格不菲。“纤维如果又长又细,棉布就会薄而透气,像丝绸一样,品质提高了,消费者购买优质棉织品的性价比也就相应提高了。”

相关论文信息:  
DOI: 10.1038/s41588-018-0282-x

## 前沿

### 新成果打破中华蜜蜂种群的国际认知

本报讯 近日,中国农业科学院蜜蜂研究所蜜蜂遗传与育种创新团队针对中华蜜蜂群体基因组学开展了研究,系统揭示了中华蜜蜂的群体结构、进化与适应。相关研究成果在线发表在《分子生物与进化》上。

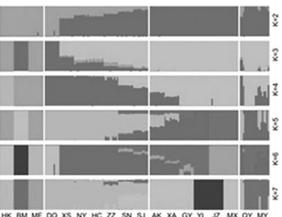
中华蜜蜂(以下简称中蜂)是我国重要的遗传资源,其分布广泛,涵盖多种气候区和地形。但目前群体多样性受到严重影响,亟待保护。过去受研究手段限制,对中蜂群体了解有限。

该研究通过对我国18个地区中蜂进行研究,发现其具有较高的遗传多样性,群体间分化程度较高,一些群体中分化达到了亚种水平,打破了国际上对中蜂主要为一个类型的认知。

研究团队对群体遗传结构的分析发现,岛屿和山区的种群存在较高的遗传分化和较低的遗传多样性,平原地区种群存在较强的基因流。因此,对平原地区中蜂的保护应考虑基因流的影响。进一步分析发现,地形阻隔促进种群间的分化,而地理距离对遗传分化影响较小。因此,有必要对青藏高原等地形较为复杂的地区进行深入探索,发掘中蜂种质资源。

研究成果对进一步研究中蜂群体、保护我国蜜蜂遗传资源具有指导性意义。(方舍 陈超)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1093/molbev/msy130>



# 天然替抗品 促生有益菌

■本报记者 王方

对肠道微生物菌群的调节作用。

### 构建全球首个鸡肠道微生物参考基因组

“传统的16S rRNA基因分析仅提供关于微生物组成的有限信息,而宏基因组测序技术的不断进步,为肠道微生物的功能研究提供了重要技术支持。”樊伟说道。

该研究以能代表肠道微生物的肠段内容物样本为研究材料,从7个不同品种(地区)鸡的5个肠段(十二指肠、空肠、回肠、盲肠和直肠)中采集了495个肠道内容物样本,通过高通量测序共产生1.64Tb宏基因组数据,平均每个样本3.31Gb。

得到contig N50长度为1.95kb的组装结果,从组装数据中鉴定了904万个非冗余基因,平均开放阅读框长度为697bp,样品稀释曲线已接近饱和,表明大多数鸡肠道微生物的基因已被包含于基因组中,由此构建了全球首个鸡肠道微生物参考基因组。

鸡肠道微生物参考基因组的构建,是对动物肠道宏基因组学研究的重要补充。

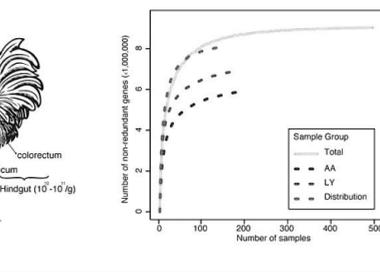
在构建鸡肠道宏基因组之后,该研究比较了鸡、猪和人的肠道宏基因组,发现三者的肠道宏基因组在基因序列水平上差异巨大,但微生物的功能相似性较高;分析了不同养殖模式对于鸡肠道宏基因组的影响,发现鸡在散养模式下肠道微生物多样性高于笼养模式,且土壤主要成分的放线菌在散养鸡中比笼养鸡中更丰富;比较了鸡的前肠和后肠宏基因组的差异,发现后肠微生物多样性明显高于前肠;比较了不同日龄的肉鸡肠道微生物特点,发现在前肠和后肠中,微生物代谢能力均在第28天左右达到最大值,此后基本保持稳定或略有下降,但前肠中不同日龄的差异程度要大于后肠中的日龄差异程度。研究表明,生长早期对于鸡的发育和肠道微生物群的建立都至关重要。

博落回提取物中剂量组(MCE-M)的体增重增加和料肉比(FCR)降低的效果优于金霉素组,这一剂量也符合商业推广的剂量,表明博落回提取物在促进生长的效果上是优于金霉素的。在樊伟看来,“这对于养殖业具有重要意义”。

此外,饲用抗生素还引起了肠道内抗生素抗性基因的上升,这进一步警示了饲用抗生素可加速耐药菌的产生而对公众造成巨大威胁,以及开发有效的饲用替抗产品的紧迫性。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5>

长期以来,植物源天然促生长剂,如含有博落回提取物的产品,已作为抗生素的替代品被



鸡肠道宏基因组

广泛地用于畜禽生产中,在中国2012年底成功批准,成为我国首个二类新兽药饲料添加剂产品。

虽然以博落回提取物为基础开发的饲用替抗产品全球市场取得了骄人成绩,但其提高畜禽生产性能的相关机制的细节仍不清楚。

这项研究以金霉素(饲用抗生素)与博落回提取物(植物来源天然促生长剂替抗产品)为比较研究对象。

宏基因组数据结果显示,博落回提取物主要能促进有益菌乳酸菌属增加、增强氨基酸和丁酸等营养或抗代谢物合成,从而有利于抗炎模式。金霉素则增加了肠道中产抗生素菌群的丰度及增强了多种抗生素合成途径,据此推测能更有效地抑制有害菌和炎症反应来达到促生长效果。

研究还发现,二者都对脂质代谢有重要影响,均能富集次级胆汁酸生物合成途径。金霉素还增强了脂肪酸和不饱和脂肪酸的生物合成途径,该结果表明脂质代谢调节是抗生素生长促进剂的重要机制。而博落回提取物则通过增强氨基酸和维生素的生物合成途径来促进鸡的营养吸收和生长。

博落回提取物中剂量组(MCE-M)的体增重增加和料肉比(FCR)降低的效果优于金霉素组,这一剂量也符合商业推广的剂量,表明博落回提取物在促进生长的效果上是优于金霉素的。在樊伟看来,“这对于养殖业具有重要意义”。

此外,饲用抗生素还引起了肠道内抗生素抗性基因的上升,这进一步警示了饲用抗生素可加速耐药菌的产生而对公众造成巨大威胁,以及开发有效的饲用替抗产品的紧迫性。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5>

一条几十公斤的鱼,体型大、生长周期短、出肉率高、肉质鲜嫩、营养丰富,甚至可以媲美金枪鱼,黄条鲷简直集万千优点于一身,更是养殖户“梦寐以求”的致富法宝。不过以往一直依靠捕捞野生资源,其人工繁育仍是空白。

中国水产科学研究院水产养殖技术首席科学家、黄海水产研究所研究员柳学周瞄准了黄条鲷这种大洋性大型经济鱼类的宝贵价值,他带领团队开展研究,攻克难关,在国内首次取得了黄条鲷人工繁育的重大突破,为我国深远海养殖等新型生产模式的发展提供了优良养殖资源,为将来产业化开发奠定了基础。

“十三五”是我国海洋渔业转型升级发展的新时期,由于近岸生态环境和资源减退的压力增大,大力发展深远海养殖成为当前我国海水养殖的重要方向。

那么,深海养什么鱼合适?“已开发的适宜我国深远海况养殖的优良种类很少,特别是北方沿海迟迟没有找到一个好的品种,成为制约深远海养殖发展的瓶颈之一。”柳学周在接受《中国科学报》采访时说。

因此,加快开发适合我国海洋环境条件的大洋性经济鱼类养殖新资源,成为业界广泛关注的热点。

国际上已成功开发的大洋性经济鱼类有大西洋鲑、五条鲷以及金枪鱼等,挪威的大西洋鲑养殖产量超过120万吨,日本五条鲷养殖产量高达10余万吨。而这些品种我国都没有自然分布,其种质资源的可持续性是一个重要问题。

柳学周一心想找到一种生长快、品质优、市场好并且适合加工的食品,经过多番考察、比较,最终他“锁定”了我国本土分布的大洋性大型经济鱼类——黄条鲷。

然而,柳学周介绍,近年来全球范围内黄条鲷自然资源严重衰退,澳大利亚、新西兰等国已禁止捕捞野生苗种。我国资源衰退更为严重,十年前我国野生苗种收购出口每年达100万尾,日本养殖户常常在我国收购野生苗种。而近几年野生苗种捕获量下降到10万尾以下。

雪上加霜的是,国际上黄条鲷规模繁育研究尚未突破,养殖用苗种生产还是难题。近年来,日本、澳大利亚、新西兰、韩国等国家纷纷开展黄条鲷人工繁育与养殖技术开发,但各国研发进展较为缓慢,养殖业主要依赖野生苗种,这对自然资源会产生持续影响。

柳学周深感责任重大,他带领团队从野生鱼驯化开始,开启了数年的人工繁育之路。

如何使野生的黄条鲷不出现“水土不服”,着实让科研人员费了不少劲。一切还得从人工调控环境条件着手。“我们设法从温度、光照、营养等环节入手给黄条鲷提供最佳性腺发育的环境条件,帮助其实现室内自然产卵,以求让我们获得良好的受精卵。”柳学周说。

国外科研工作难以推进还在于黄条鲷是一种非常“有个性”的鱼。这种鱼应激反应十分强烈,比如科研人员用手或者容器捕捞时,鱼很容易受惊而产生痉挛,死亡率较高,这种“敏感”特质导致研究工作异常困难。

不过,再难也没有阻挡团队前进的脚步。柳学周带领团队克服重重障碍,从陌生到熟悉,逐步摸清了黄条鲷的生活习性、培育环境条件、生长发育的生理特征以及饵料偏好等。

数年来,他们攻克了黄条鲷野生鱼驯化、亲鱼“海陆接力培育”、人工综合调控亲鱼性腺发育成熟、自然产卵等技术难关,获得了批量受精卵。采用工厂化育苗方法,摸清了早期发育规律、饵料系列、苗种中间培育等关键技术,培育出平均全长13.6cm、平均体重28.4g的黄条鲷大规格苗种数万尾,取得了人工繁育的成功,也标志着我国在该技术上步入国际先进水平。

研究团队前期养殖实验证明,在我国北方地区,采取“海陆接力养殖”模式,当年的苗种到秋末可生长到尾重500克左右,以后每年仅在5个月的适宜生长期内,体重就可增加2~3公斤,生长速度之快可见一斑。若在我国南方地区,适宜生长的时间更长,生长速度将会更快。

记者了解到,目前正在开展人工苗种的深水网箱养殖和陆基工厂化循环水养殖等新型生产模式研究,为下一步养殖产业的发展提供技术支撑。

柳学周表示,黄条鲷特别适应深水网箱养殖等养殖模式,其苗种繁育的成功,将摆脱长期依赖野生资源的局面,为我国深远海养殖等新型生产模式的发展提供新的优良养殖资源,为我国海水鱼类养殖转型升级增添新动能,开发应用前景广阔。

“接下来,我们还将研制专用配合饲料,着力提高育苗成活率。此外,还要加强产业化发展与市场培育,即坚持产前、产中、产后链条式发展模式,以冷链加工为支撑,开拓国内外市场,打造中国黄条鲷养殖产业的‘三文鱼模式’。”柳学周说。

黄条鲷人工苗种

## 黄条鲷人工繁育助力深海养殖

■本报记者 张晴丹