



# 聚焦农业863·项目首席谈创新



## 本版与科技部农村中心 高技术处合办

## 韩方普：小麦染色体工程助力渤海粮仓

建立诱导外源染色体重要功能区段向小麦定向转移的技术体系,建立并普及外源基因组区段/基因的高效检测新技术,促进和提高我国小麦染色体工程研究水平,并在国际上产生良好的影响;将黑麦和簇毛麦携带的抗白粉病基因、长穗偃麦草携带的抗赤霉病基因转移到小麦背景中并阐明其外源基因组区段的遗传学效应;改进染色体检测方法,能更准确高效地鉴定外源染色体及片段;对携带抗白粉病基因的小麦—簇毛麦易位系NJ1和NJ2的外源基因组区段,以及具有多花多实效应的小麦—冰草易位系普冰3035的外源基因组区段进行遗传效应分析;创制小麦染色体工程基础材料1200份;培育多粒、多穗、抗白粉病、抗条锈病、抗赤霉病、抗黄花叶病、耐寒等适合不同生态区的育种新材料30份,培育新品种9个……

这是863计划现代农业技术领域“小麦分子染色体工程与功能基因组研究”所取得的部分成果。

该项目首席专家中国科学院遗传与发育生物学研究所植物细胞与染色体工程国家实验室副主任韩方普介绍,截至2015年11月,该项目各项任务按计划完成,比如在染色体技术研究方面,建立高效、高分辨率的染色体检测技术并为国内30多家实验室进行技术培训。最近,该项目开发了能用于非变性FISH(ND-FISH)分析的寡核苷酸探针,能高效鉴定小麦背景中的黑麦染色体,并开发了黑麦染色体及染色体区段特异分子标记;同时利用FISH/GISH结合技术,已成功鉴别中间偃麦草中每对同源染色体,并建立了中间偃麦草的标准核型。

研究人员审定小麦新品种2个,普冰696较对照增产10%以上,科农2009较对照增产5%以上;参加国家级和省区区域试验、生产试验新品系4个,其中蜀麦830较对照增产10%以上,西农529和科农2009较对照增产5%以上;10个新品系参加2015—2016

年度省区区域试验或联合鉴定试验。

在小麦A基因组深度测序方面,研究人员对31份乌拉尔图小麦进行全基因组重测序,发掘大量的SNP、InDel以及SV;结合田间表型性状进行全基因组关联分析,将收集到的乌拉尔图小麦种植于北京、山东、河南等地区,并进行田间的表型性状考察;在小麦D基因组测序和功能基因研究方面,完成了两个抽穗期、一个粒型基因的精细定位;探讨了小麦多倍体形成过程中D基因组的表达。此外,构建了覆盖抗白粉病基因MIWE29和pm2026的BAC重叠群,完成了BAC测序、组装、注释和候选基因预测,完成了候选基因的初步功能分析;对抗白粉病基因MIWE29及其感病突变体进行了转录组测序,研究了其抗病调控可能涉及的网络。

截至目前,该项目发表论文87篇,申报发明专利17项,获得发明专利1项,公告植物新品种

权申请1项,申请植物新品种权6项。

韩方普说,小麦染色体工程的另一个非常大的贡献是,国家最高奖获得者李振声院士培育的小偃系列—小偃81和小偃60,已经在渤海粮仓粮食增产计划发挥巨大作用,小偃81和小偃60就是小麦远缘杂交及染色体工程培育的抗盐碱新品种和耐盐系。

同时,该项目承担单位中国科学院遗传与发育生物学研究所、中国农业科学院作物科学研究所、西北农林科技大学、中国农业大学、南京农业大学、四川农业大学、山东农业大学和创制的具有育种利用价值的、携带外源染色体的小麦新品系,与全国多家小麦育种单位都有进行材料及相关信息的交流。该项目承担单位与种子企业、各地农业技术推广部门联合,建立审定品种的示范基地,进行新品种的示范推广,2011—2015年审定的9个小麦新品种在各自适宜种植地区推广种植,累计推广320多万亩。

## 吴普特：农业高效用水控制技术广泛示范

已获国家授权发明专利316件、实用新型专利47件,2015年申报发明专利221件,其中国际发明专利2件;申报植物新品种权7项,获植物新品种权7项;软件著作权登记26项;出版专著20部,制订地方标准6项;发表学术论文730篇,其中SCI、EI收录论文298篇;培养中青年学术骨干33名,培养硕士研究生364名,技术培训2040人次;研发成果获国家科技进步二等奖5项;省科技进步奖2项;与企业和地方农业技术推广部门联合,示范推广抗旱节水新品种新技术,示范面积达62600亩,取得了良好的社会经济效应……

这是863计划现代农业技术领域“农业高效用水精密控制技术与产品”项目所取得的部分成绩。

该项目首席专家西北农林科技大学常务副校长、旱区作物高效用水国家工程实验室主任吴普特教授介绍,研究人员筛选出了小麦、玉米与产量关系密切的抗旱及水分高效利用筛选指标24项;检测到目标性状大效应分子标记39,构建了抗旱节水品种表型与基因型联合鉴定评价技术体系;筛选小麦和玉米抗旱节水品种47个,参加生产试验或区域试验的抗旱节水新品系45,筛选作物抗旱节水新材料55份;建立了作物群体水分亏缺诊断技术,建立了节水种植结构与种植模式决策支持系统;完成了节水制剂与产品的研发、应用规程和施工工艺。

研究人员提出干旱内陆河流域考虑生态的水资源管理理论与调控技术及其应用模式;依据作物耗水时空格局优化设计确定区域水资源健康利用条件下的经济耗水指标,构建了作物水分—品质—产量—效益综合模型,建立了基于作物生命需水信息和综合考虑水分—品质—产量—效益的节水调质高效灌溉决策研究方法;初步构建了旱作、灌溉、设施农田主要作物水肥联合调控技术体系,获得了小麦、玉米作物调质灌溉施肥技术4项、玉米、棉花分根区交替灌溉施肥技术4项、大田玉米与棉花作物水肥一体化技术4项,设施番茄、黄瓜、甜瓜水肥一体化技术6项;研发出地下滴灌曝气系统及其控制装置6套、土壤水肥联合调控剂2个、生物肥料制剂2个,登记新型水溶性肥料产品2个;制定《干旱半干旱地区玉米降解除膜覆盖下滴灌栽培技术规程》(DB 22/T 1777—2013)。

研究团队借助全球导航卫星系统GNSS(Global Navigation Satellite System),开展了GNSS农田平整自动导航控制技术设计和研发,构建了GNSS农田平整集成系统区域规划新方法;开发出薄壁滴灌带、微润管生产技术及装备2种,流量可调式喷头3种,多功能轻小型喷灌机组2台(套)。同时,开发了一系列农田水分和作物需水信息监测技术与装备;完成了水稻直播膜下滴灌栽培配套技术研究,有效控制了稻田草害,滴灌水稻亩产最高达803kg。

吴普特介绍,在项目组织实施及其管理方面,该项目实行课题负责人与团队负责人责任制,分工合作,研究团队目标明确,各行其职,强化课题内部交流与合作,相互学习,取长补短,协同完成研究任务;重视年度总结评估,建立定期交流沟通机制,各团队汇报年度研究进展及存在问题,邀请专家进行指导;同时重视过程管理,在任务执行过程中团队成员保持密切联系,发现问题及时解决,确保研究计划顺利实施;实行研究团队独立核算制,各研究团队根据各自的预算进行开支,课题执行过程中,各研究团队之间各项预算依据相关规定可进行灵活调整,最终课题执行的预算与支出相符,有助于推动课题经费的顺利执行;实现产学研紧密结合,产品开发积极吸纳国内有资质的生产企业参加;通过产品联合研发,形成技术创新联盟与知识产权联盟。

同时,吴普特建议,从整体上看,目前课题与用户或企业的联系、信息交流和合作情况还需要进一步加强,研究成果的组装集成及其产业化工作尚属薄弱环节;最后冲刺阶段要对研究工作进一步整合,强化各子课题单项成果之间的无缝对接、深度融合与高度集成,确保研究成果的整体性、系统性、科学性与实用性;进一步培育和凝练标志性成果,加强与企业、生产管理部门和农户的紧密合作,加快成果转化和产业化步伐;进一步提高作物抗旱节水新材料的筛选水平;产品制造质量及加工精度有待进一步提高,需要进一步改进其加工工艺,提高水力性能和整体质量,建立产业化生产工艺、工装和生产线。

该项目首席专家、中国水产科学研究院生物技术学首席科学家孙效文介绍,该项目共由4个课题组成,包括来自全国11家科研机构的18个团队,承担从功能基因组资源挖掘到分子辅助育种、基因工程的多方面研究任务。五年来各团队研究水平明显提升,研究成果令人振奋,鲤鱼、草鱼基因组资源的深入挖掘,对我国淡水养殖产业的种业创新、结构调整和可持续发展都有重要意义,譬如:鉴定了一大批鲤、草鱼功能基因,利用自主开发的鲤高密度芯片,在全基因组层次上鉴定到鲤鱼饲料转化率、肌间刺、抗痘病毒、耐缺氧、鳞发生和草鱼抗病、快速生长、食性等遗传座位和等位基因,为选育生态

## 余四斌：绿色超级稻选育出多个新品种

申请品种保护权18个,获得品种保护权8个;申请专利14项,其中PCT国际发明专利1项,获得专利3项;发表文章和专著54篇(章),部分研究成果发表在Nat Genet、PNAS等国际主流杂志上;“早中晚兼用型广适性优质稻新品种黄华占”的选育及其应用研究”成果获2015年度中国农业科技奖一等奖和大北农科技奖一等奖……

这是863计划现代农业技术领域“绿色超级稻新品种选育”项目所取得的部分进展。

该项目首席专家华中农业大学教授余四斌介绍,2015年,该项目五个课题围绕“绿色超级稻”的总目标,继续开展绿色性状基因聚合与种质创新,构建全基因组选择育种技术平台,培育具备绿色性状的水稻新品种(组合),建立绿色超级稻品种的配套两型栽培技术,以及新品种的推广应用等研究工作。各课题研究按计划展开,总体进展顺利,完成了课题任务合约中规定的年度研究任务和指标。在水稻基因组测序数据库构

建、全基因组种芯片技术平台搭建、水稻新品种的选育与示范推广,以及养分利用等重要基因的发掘等方面,取得了较大影响的阶段性成果。

研究团队创建了水稻全基因组核心种质的SNP数据库和初步建立绿色超级稻的表型数据库;开发了多性状联合关联分析QTL的方法和利用偏分离的原理对选择育种群体进行目标性状的QTL定位的方法;完成基于Affymetrix Axiom技术的水稻90K SNP芯片的测试与Illumina Infinium SNP芯片技术的比较;建立的芯片技术已为项目多家参加单位提供了检测服务;利用GBS平台完成了约35000份材料的基因分型工作,进行了大规模基因组关联分析(Genome-wide association, GWAS),鉴定水稻抗稻飞虱、优良品质等重要性状QTL;新设计22个基因区段单倍型标记或功能标记,开发32个功能基因正向选择和负向选择标记111个;克隆到1个提高水稻氮利用效率的关键基因位点,

显示出较好的育种利用前景。

研究团队已培育初步具有绿色性状(抗2—3种主要病虫害或节水抗旱,优质高产)的水稻新品种26个;参加各级区域试验的组合或品种有30多个,育成了抗多种病虫害(如稻瘟病、白叶枯病、褐飞虱等)的不育系7个;2015年新品种推广示范面积达3390多万亩,取得了良好的经济效益和社会效益,其中,课题承担单位广东省农科院选育的黄华占近2年在南方稻区九省累计推广面积超过2000万亩。

研究人员还创造一批抗多种病虫害、氮磷营养高效利用、节水抗旱、高产优质等绿色性状的水稻新品种;筛选出适应不同水稻种植省份的具有绿色性状品种,如中稻品种甬优4949、早优549、川优5727、隆两优华占和晚稻品种丰田优553等,这些品种初步认定为绿色超级稻品种。

研究团队确定了绿色超级稻品种的主要栽培技术参数,初步建立相应的栽培技术,以及适应绿色超级稻品种的轻简化栽培模式;分别在江

苏省建立绿色超级稻机插秧培育技术和在安徽省建立机直播丰产高效栽培技术;在湖南省开展了绿色超级稻黄华占轻简化(免耕撒播、免耕机插、免耕抛秧等)绿色栽培的大面积试验示范。

余四斌介绍,各课题承担单位组织开展了不同形式的新品种的示范展示及生产试验,并通过举办现场展示观摩会,邀请行业同行以及种业公司、种子经销商和种植户等进行参观指导,加大了绿色超级稻的宣传和认知度。比如,华中农业大学育成的多抗不育系华1015S、华1037S、华1201S、华1228S和华1165S分别通过协议的方式,提供给中国种子集团公司、丰乐种业有限公司、湖南隆平种业有限公司、湖北种子集团公司、湖北中香农业科技有限公司、湖北惠民农业科技有限公司、武汉惠华三农种业有限公司、安徽华韵生物科技有限公司等8家种子企业进行重新组合选配,同时,还与中国种子集团公司和湖北种子集团公司联合申报绿色通道品种区试。

## 孙效文：养殖鱼类功能基因组进步显著

完成了鲤鱼全基因组序列精细图谱绘制,组装基因组约16.9亿碱基,注释了52610个功能基因,是国际上首个完成全面解析的异源四倍体硬骨鱼类基因组图谱;采集全球代表性鲤鱼品系和野生种群开展全基因组重测序研究,绘制了全球鲤鱼单碱基分辨率的全基因组遗传变异图谱;基于鲤鱼全球代表性品系的遗传变异信息,设计构建了含有25万个高质量位点的鲤鱼高通量SNP基因分型芯片,构建了包含28194个标记位点的鲤鱼超高密度遗传连锁图谱,在此基础上开展了鲤鱼性别、色、鳞、体、型、生、长、低氧适应、抗痘病毒等重要经济性状的全基因组关联分析,鉴定到与鲤鱼、草鱼等抗病、肌间刺、饲料转化率、脂肪和肌肉发生、体色、鳞等候选基因300多个……

这是863计划现代农业技术领域“鲤鱼和草鱼等重要养殖鱼类功能基因组研究及应用”所取得的部分成绩,该项目五年来利用基因组资源和遗传工具,先后建立了一批鲤鱼、草鱼新品种、新品系,抗痘病毒鲤鱼新品系较对照保护率提高70%;鲤鱼、草鱼基因组研究论文先后在国际顶刊《自然遗传学》发表;分子标记辅助育种研究取得多项突破,“鲤优良品种选育技术与产业化”研究成果获2015年国家科技进步二等奖。

该项目首席专家、中国水产科学研究院生物技术学首席科学家孙效文介绍,该项目共由4个课题组成,包括来自全国11家科研机构的18个团队,承担从功能基因组资源挖掘到分子辅助育种、基因工程的多方面研究任务。五年来各团队研究水平明显提升,研究成果令人振奋,鲤鱼、草鱼基因组资源的深入挖掘,对我国淡水养殖产业的种业创新、结构调整和可持续发展都有重要意义,譬如:鉴定了一大批鲤、草鱼功能基因,利用自主开发的鲤高密度芯片,在全基因组层次上鉴定到鲤鱼饲料转化率、肌间刺、抗痘病毒、耐缺氧、鳞发生和草鱼抗病、快速生长、食性等遗传座位和等位基因,为选育生态

友好、资源节约的鲤鱼草鱼新品种奠定了基础;项目组开发的鲤鱼草鱼全基因组数据库和网站,迄今已经有来自82个国家和地区的数据检索,仅网站就在2015年有6000多人浏览和下载,有力地促进了鲤基因组数据在国内外的开放共享,极大方便了鲤科鱼类基因组研究和分子育种工作。

孙效文介绍,该项目基因工程取得了明显进步,转GH基因的黄河鲤生长优势明显,安全研究技术获得美国专利;具有高氨基酸和高omega-3多不饱和脂肪酸的转基因鲤形成规模群体;基因操作技术获得突破,如基因编辑获得了几乎无肌间刺的斑马鱼品系、可控生殖的转基因鲤鱼达到自交可育杂交不育的保护生态的理想模型,做到罗非鱼可雌可雄的精巧调控等。

研究团队在分子标记辅助育种上也取得了重要进展,一批有望形成新品种的具有特殊经济性状的新种质和新品系已培育出来,如培育中的抗痘病毒镜鲤成活率提高70%以上,使当地养殖户减少损失增效明显;三倍体草鱼生长速度快抗逆性强,深受养殖户欢迎;系统选育获得的抗病且生长速度快的草鱼已建立核心群体;少肌间刺、耐缺氧罗非鱼、快速生长黄颡鱼等都培育成功。

孙效文指出,上述基因水平的研究成果和高技术在品种中的应用是提升我国淡水主养鱼类品质的重要途径,尤其用于鲤科鱼类的改造,既可保持我国传统鲤科鱼类耐粗饲、水资源利用效率高、养殖成本低的优势,又可提升其品质以满足消费者对优质蛋白的需求,对于淡水养殖业的“供给侧改革”具有重要意义。

同时,孙效文建议,各团队要在目前研究基础上,进一步加强品质、抗病等重要性状的遗传机制研究,将基因与性状的关系搞得更为清楚并尽快用于品种培育,已获得优良品系的要加快培育速度,尽早形成品种;项目即将结束,希望各单位将上述创新技术成果和产品最终用于产业,推进水产业的科技进步。

## 江连洲：食品新酶创制及加工技术成果喜人

863计划现代农业技术领域项目“食品新酶创制及生物加工关键技术研究及创新应用”自2013年实施以来,共有49家单位368人参加了研究工作,其中高级职称125人,博士学历115人;共发表论文135篇,其中SCI论文53篇,撰写出版专著5部,申请发明专利50余项,获得发明专利授权22项;参加制定相应国家或者行业标准5项;培养研究生64人,其中博士生8人;主办专题性的学术会议1次;累计共选育菌株30株,创制新酶制剂7种,相关技术或产品21种,建成生产线2条。

据该项目首席专家、东北农业大学食品学院院长江连洲教授介绍,该项目专项的9个课题于2013年全面启动,项目牵头单位和各课题主持单位签订了计划任务书,各课题主持单位和研究团队签订了任务合约。在2015年,项目专家组对本

项目各课题执行情况进行了细致的调查,调查结果表明,各个课题进展顺利,执行情况良好,完成了目标任务,不少课题在部分指标上甚至是大幅超标完成了目标任务,结果令人欣喜,年度目标任务均已圆满完成。

在新型糖酶创制与创新应用关键技术研究方面,2015年课题组完成了产耐酸耐高温 $\alpha$ -淀粉酶、普鲁兰酶、耐热 $\beta$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的小试和中试,完成了耐酸耐高温 $\alpha$ -淀粉酶、普鲁兰酶、耐热 $\beta$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的酶学特性研究,并申报了相关专利等。

在糖质资源高效生物利用关键技术研究方面,研究人员创制定向水解、转苷等新型糖酶制剂3种,利用新型糖酶复合技术创建糖结构生物修饰新技术1项,开发新型交替糖及其衍生物、车

前子多糖、江香菌酸性多糖等3种;创建酶解反应器与纳滤膜分离耦合技术,实现多糖酶解过程控制技术3项,申请国家发明专利11项,其中授权专利4项,发表论文14篇,包括发表SCI论文10篇,其中影响因子大于2.0的5篇,获得中国轻工联合会科学技术发明二等奖、中国石油和化学工业联合会科技进步奖、德州市科学技术一等奖及项目成果鉴定各一项。

江连洲说,在高油高蛋白油料水酶法提油及其生物资源利用关键技术研究方面,研究人员完善酶辅助水相法工艺,开展花生酶辅助水相法新工艺的中试实验,以及酶辅助水相法和渣相的开发和利用;探索玉米胚芽油的水酶法提油工艺,并开展中试线的建设;以核桃蛋白为原料,利用酶法水解制备小分子核桃肽。

在油料生物解离关键技术研究方面,课题针对我国现有油料加工技术中油与蛋白等资源难以兼顾,油料资源利用率和附加值低,现行工艺带来的资源和环境负担以及潜在安全隐患等影响产业健康发展的关键共性问题,开展食用植物油清洁制造前沿技术研究;形成具有自主知识产权的油料挤压膨化预处理技术与装备、二次酶解生物破壁与脂蛋白/脂多糖酶降解、多相分离技术、高压蒸汽瞬间破乳技术等,下游产物高效低耗低破坏膜分离纯化技术,实现了油料生物解离技术关键酶、基因工程和高效率表达;初步形成大豆、葵花籽和油茶籽油料生物解离提取油脂的绿色加工高新技术连续化制备工艺,突破我国主要油料大豆、葵花籽和特种油料油茶籽生物解离同时制备油脂与蛋白质、多糖等的关键技术。

在蔬菜生产过程遇到的各种逆境环境是影响蔬菜产量和品质的重要因素,该项目研究团队以番茄、黄瓜、甘蓝、大白菜为研究对象,针对白菜耐热、耐抽蔓、甘蓝耐抽蔓、耐裂球、番茄耐盐、耐旱、耐寒,黄瓜耐低温等抗逆性状,建立和完善种质资源抗性鉴定体系,构建多样性丰富的遗传群体和高密度的分子遗传图谱,并以此为基础,开发出了20个与各种抗逆性状连锁的分子标记;利用获得的标记进行分子标记辅助育种,创制出了一批优异的抗逆育种材料,育成了11个优良的抗逆品种。

杜永臣说,该项目开发出了26个与番茄、黄瓜、白菜、甘蓝、辣椒和西瓜品质性状紧密连锁的分子标记,标记与目标基因遗传距离小于5cm;通过资源筛选、鉴定和杂交选育,创制了品质性状优良的一批育种材料,选育出了高品质的蔬菜新品系7个,并且有一大批优良组合在后续的鉴定筛选之中,该项目取得的成果极大地促进了我国蔬菜品质育种研究落后局面的改变;项目共开发出了与各种重要农艺性状紧密连锁的分子标记104个,克隆功能基因9个,育成新品种36个,申报专利24项,发表论文110篇,培养研究生44人。

同时,杜永臣建议要加快推进项目成果的应用,一是通过与企业合作以及各种宣传,促进新品种在生产上的推广;二是通过育种单位之间的交流与合作,实现数据共享,促进项目建立的各种技术在蔬菜育种实际中广泛应用,让项目成果发挥更大的效益。

(本版文字由马爱平整理)

## 杜永臣：蔬菜育种获得多个分子标记