

■ 大话农科

马铃薯杂交种子从这里起步

■ 本报记者 李晨

马铃薯的杂交种子，将在这里诞生。

深冬时节的昆明，风和日丽，如春天般温暖。阳光透过温室顶棚的玻璃，投射在一棵棵绿色的小苗上。

它们的无数后代中将会出现未来马铃薯的二倍体亲本。到那个时候，农民种在地里的将不再是马铃薯薯块，而是一粒粒马铃薯种子；各种各样符合消费者多样化需求马铃薯品种也会百“薯”齐放。

这就是中国农业科学院“优薯计划”描绘的未来马铃薯产业的图景。

“优薯计划”瞄准结构性障碍

你可能想像不到，我们现在吃的马铃薯和几十年前人们吃的是同样的品种。

和其他农产品新品种层出不穷的情况不同，优质马铃薯新品种并不多。一些上百年历史的马铃薯品种仍然在广泛种植，如美国的 Russet Burbank (1902 年育成) 和荷兰的 Bintje (1904 年育成)。中国栽培面积最大的品种“克新 1 号”是 1958 年育成的，至今已经种植了 60 年。

作为一种营养全面的世界第三大主粮作物，却缺乏有效的育种手段，新品种选育周期漫长，一般需要 10~15 年，且难以实现预期的育种目标，不能满足生产和产业发展的需要。

“这是因为一直存在两个结构性障碍，制约着马铃薯深入研究和产业的可持续发展。”“优薯计划”首席科学家、中国农业科学院研究员黄三文告诉《中国科学报》，马铃薯普通栽培种是同源四倍体，其杂交后代性状分离，导致其育种研究困难；而且，四倍体马铃薯栽培品种主要通过薯块繁殖，繁殖系数低，只有 1:10，用种成本高，易携带病虫害，不仅制约了优良新品种的迅速大面积推广应用，也是导致我国平均单产水平很低的主要原因之一。

2017 年 1 月，黄三文用一只马克笔在办公室的白色玻璃隔板上写下马铃薯杂交育种的构想。“马铃薯产业的可持续发展急需重大科技创新驱动。”他说。

那就是用杂交种子种马铃薯。为了破除上述两个结构性障碍，“优薯计划”应运而生。黄三文介绍，“优薯计划”将用二倍体自交系替代同源四倍体栽培品种进行杂交育种，可将育种周期从 10~15 年缩短为 3~5 年，大幅度提高育种效率；用储运方便且不带主要病虫害的杂交种子替代块茎繁殖，将把繁殖系

数提高 1000 倍，为我国每年节省 1000 万亩种薯繁育用地，并解决 1000 万吨种薯储运难题。

2017 年和 2018 年，农业农村部相关领导与深圳市领导两次前往优薯计划承担单位——中国农业科学院深圳基因组研究所（以下简称基因组所）调研“优薯计划”；2017 年 3 月，农业农村部组织国内马铃薯专家前往项目单位云南师范大学听取“优薯计划”项目汇报；2017 年 3 月由多名国内外院士组成的专家小组论证了“优薯计划”，一致认为该计划意义重大，应尽快启动。

2017 年，在中国农科院科技创新工程、深圳市和云南省的大力支持下，“优薯计划”按照既定目标开始推进。

黄三文向记者强调，选择云南师范大学作为合作方，是因为云南师范大学拥有 40 年历史的马铃薯传统特色学科和丰富育种经验，其成果——新品种“合作 88”的培育入选了我国与国际农业研究磋商组织 (CGIAR) 战略合作 30 年来的标志性成果。为了更有效地推动这个计划，中国农业科学院和云南师范大学联合成立了马铃薯科学研究院。

攻克马铃薯自交不亲和难题

尽管栽培马铃薯品种不多，遗传背景单一，但是自然界中 70% 的马铃薯种质为二倍体，其丰富的遗传变异为“优薯计划”的实施提供了基础。

不过，二倍体马铃薯普遍存在自交不亲和和自交衰退现象，限制了自交系的创制。自交不亲和是指具有完全花并可以形成正常雌雄配子，但不能自花授粉结实的一种自交不亲和性。

而自交衰退在异花授粉植物中也是一种普遍存在的现象：在进行连续多代自交后，会出现生理机能的衰退，表现为生长势减弱，产量降低。

这两种现象都是植物在长期进化过程中形成的，保证了遗传多样性，有利于进化和适应环境。

“然而，这是摆在‘优薯计划’面前的两大绊脚石。”黄三文说。

他们第一项重要工作就是攻克马铃薯自交不亲和的难题。

领衔这项工作的中国农业科学院深圳农业基因组研究所的博士后张春芝告诉《中国科学报》，克服自交不亲和的传统方式是利用来自野生马铃薯中的自交不亲和抑制基因 (S-locus inhibitor, Sli)，但是 Sli 基因被导入栽培种后会产生长匍匐茎、高龙葵素含量等一系列不良的农艺性状，增加了遗传改良的难度。

为了寻找一种更有效的克服自交不亲和的方法，他们创新性地利用基因组编辑技术解决这一难题。马铃薯的自交不亲和是由核糖核酸酶基因 (S-RNase) 控制的，该基因在不同材料中的多态性非常高，很难通过同源克隆的方法克隆到 S-RNase 基因的全长。

研究人员发现，通过对柱头转录组进行从头拼接，可以获得 S-RNase 基因的全长序列，并利用基因组编辑技术对此基因进行了定点突变，获得了自交亲和的二倍体马铃薯，并通过自交获得了不含有外源片段和任何野生基因组片段的马铃薯新材料。

这种新材料可以直接应用到育种过程中，为“优薯计划”的顺利实施提供保障。

2018 年 8 月 13 日，《自然—植物》杂志在线发表了云南师范大学马铃薯科学研究院和基因组研究所研究团队的上述成果，这是“优薯计划”实施以来发表的首篇重要研究论文。

英国詹姆斯·赫顿研究所马克·泰勒 (Mark Taylor) 博士为此撰写了评论，认为该研究开辟了二倍体马铃薯育种的新途径，拓展了自交亲和和马铃薯资源，将加速马铃薯的遗传改良。另外，泰勒也指出，虽然目前二倍体马铃薯的产量低于四倍体，但是没有证据表明二倍体一定比四倍体差，而且利用基因组编辑技术解决自交不亲和的问题也间接证明了在二倍体水平上进行的遗传改良将更加快速和高效。

向更好吃的马铃薯推进

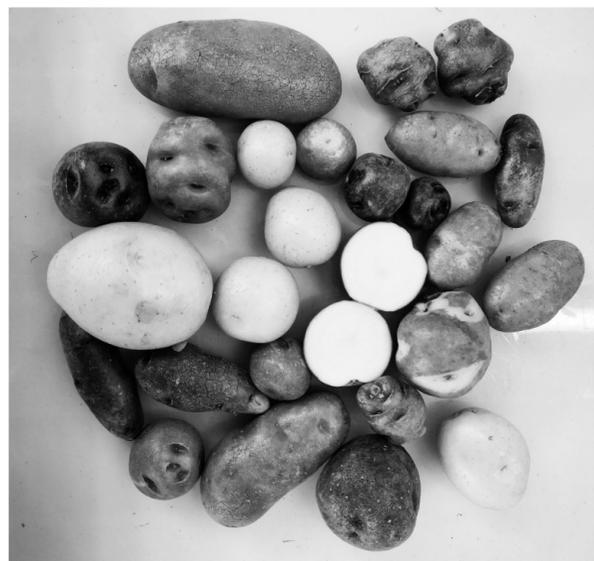
伦敦时间 2019 年 1 月 14 日，《自然—遗传》杂志在线发表了该团队完成的马铃薯自交衰退遗传机制解析的研究成果，这是“优薯计划”实施以来取得的第二项重大理论突破。

隐性有害等位基因隐藏在高度杂合的四倍体基因组中，使得优良等位基因很难聚合在一起，这是导致马铃薯育种周期长的主要原因。

论文第一作者张春芝告诉记者，他们鉴定了全基因组范围内共 344831 个有害突变，并发现任意两份二倍体材料之间相同的有害突变仅为 11%。

“这说明不同品系马铃薯的有害突变差异性比较大，可以通过杂交让这些有害突变不表达出来，从而获得具有杂种优势的 F1 杂交种。”张春芝说。

最终，他们鉴定出 5 个纯合致死位点以及 4 个影响长势的位点。而且这些大效应的有害突变主要位于重



各种马铃薯种质



马铃薯果实 李晨摄

院教授尚轶和黄三文团队构建的多组学代谢研究体系正用于马铃薯营养品质、风味形成分子机制研究。

尚轶告诉《中国科学报》，在漫长的进化过程中，植物合成出数量巨大、结构异常丰富的次生代谢产物，影响了作物的营养与风味品质，同时也为医药、化妆品等商品提供了重要的原料来源。

随着组学大数据技术的飞速发展，通过整合基因组、转录组、代谢组以及蛋白组等多种组学技术，发掘控制植物次生代谢产物合成、调控、转运等过程的关键基因已越来越普遍。相关研究将为培育营养丰富、风味独特、口感好的马铃薯新品种提供理论和技术支持。

记者了解到，欧洲已有 3 家公司投入大量资金研发马铃薯杂交种子，而美国多位马铃薯科学家也于 2016 年联合发表文章，呼吁加强马铃薯二倍体研究。但目前，他们多采用传统育种手段，而我国的“优薯计划”是最早采用基因组手段研究马铃薯二倍体的。“优薯计划”的顺利实施需要更多的关注和支持。

相关论文信息：
DOI:10.1038/s41477-018-0218-6
DOI:10.1111/tpj.14132
DOI:10.1038/s41588-018-0319-1

南方有佳木 十年蔚成林

■ 本报记者 沈春蕾 通讯员 谭如冰



广东信宜檀香苗圃 华南植物园供图

不久前，马来西亚代表团访问了中科院华南植物园。双方就对印度檀香、东格阿里等珍稀植物开展规模化育苗及栽培，以及合作建立热带珍稀植物研究所进行了交流探讨。马来西亚代表在华南植物园看到了希望，通过运用农业科技带动地方就业，创造社会财富，促进地方经济发展，实现马来西亚经济发展与科技进步的有机结合。

其实檀香本身就是华南植物园从东南亚引进的物种。1962 年，在万隆会议期间，周恩来总理获得印度尼西亚爱国华侨馈赠的檀香树种，从此揭开中科院华南植物园檀香引种研究的序幕。如今，檀香又成为信使，带动了“一带一路”倡议下重要国际合作。

南方有佳木

檀香自 1962 年在华南植物园落户，历经 50 多年，积聚了几代科学家的心血。2002 年马国华博士开始接手主持檀香的研究工作。

“我从前辈手里接过守护檀香的任务，当时团队就我一个人。到现在发展成植物生物技术研究所，以檀香为主要研究对象，同时开展其他珍稀濒危植物保育繁殖的生物技术研究。”如今马国华博士已经是华南植物园生物技术首席研究员。

檀香是一种常绿半寄生小乔木，原产于印度、马来西亚、澳大利亚及印度尼西亚等地。中国没有檀香的天然分布，现国内种植的檀香是从国外引种的。

“1962 年华南植物园接受印尼华侨馈赠的檀香种子繁育成功，1980 年华南植物园直接从印度引种优良檀香种也获得成功。”马国华说。2002 年后，中国慢慢有了檀香的规模化栽培。

“檀香是目前全世界最贵的树木，并且是唯一以斤认购的树木。”马国华介绍，全世界檀香每年的总需求量估计在 1 万吨以上，而全世界产量只占市场需求量 1/4，需求缺口很大。檀香种植面积小，广东省内的种植主要分布在梅州、惠州、清远、东莞、肇庆、阳江、湛江、茂名等地。目前檀香种植面积为 6 万亩。中国其他地区相对较少，在广西、福建、云南和海南还有一定规模的种植。但中国已是全世界第二大檀香种植的国家。

在全世界，檀香科檀香属的植物约有 16 种，大多分布在热带地区。主要有印度檀香、印尼檀香、澳洲檀香等品种。其中印度檀香品质最好。它不但木质坚硬、纹理美观，最高含油量可达 6%~7%，好的檀香木比水还重。但种植难度也大，只能在华南热带、亚热带地区种植，最短也要 13 年才有回报。

“檀香生长周期较长，没有耐心就不要种檀香。”这是很多人找到马国华，希望华南植物园提供檀香种植技术支持时，马国华最常讲的一句话。

十年蔚成林

由于檀香雌雄花器官异熟，通过种子繁殖的后代性状高度分离，

个体之间差异很大，这对于需要种植十几年的珍贵树木来讲，建立一套完整的组织培养快繁体系是缩短成材时间的最佳途径。

2009 年，马国华获得了国家发明专利授权“一种檀香的组织培养快繁方法”。该发明以檀香嫩芽为外植体，通过不定芽的诱导阶段、从芽繁殖阶段、生根阶段和移栽阶段等各培养阶段，调配和优选诱导、繁殖、生根、移栽等各培养阶段的培养基配方和培养条件，实现了檀香种苗的组织培养快速繁殖。但因为檀香生根时间较长，成本相对较高，市场上还没有该技术的应用。

马国华介绍，檀香最难种植的地方在于它是半寄生性植物，其部分根系必须寄生在其他寄主植物根上才能正常生长和成活，否则檀香植株会逐渐死亡。

在马国华的指导下，张新华博士和研究员梅其文、陈荣、欧阳瑶等对檀香半寄生机制进行了系统研究。他们将不同的寄主与檀香在同样的环境下一起种植，从中筛选出优良寄主植物。在寄生植物选择上，马国华建议，育苗期可选假蒿或白草，栽培初期选山毛豆或假蒿，而长期选择木本植物，如台湾相思、黑木相思、金合欢、铁刀木、麻黄、苦楝、麻楝等。同时还可以发展林下经济，在檀香林中放养家禽，能为檀香的生长提供有机肥料。

在十余年的努力下，科研人员先后与肇庆、雷州、东莞等企业开展檀香栽培推广的合作，成功建立了檀香繁殖栽培研究和示范基地，初

步形成了印度檀香在中国的规模化栽培。与此同时，檀香栽培已成为广东省一种高效、优质、潜力巨大的农林产业。

檀香是他的幸运树

檀香成林后，一个新的问题又出现了——檀香树最有价值的部分是树的心材。在一般情况下，檀香树长到 10 年才开始形成心材，人们把形成心材的过程称为“结香”。如何让檀香的结香更高效呢？

“我们从分子水平研究檀香醇生物合成过程中多个中间产物合成酶的基因克隆和功能验证，探讨檀香结香的分子机制，通过人工结香技术提高檀香油的含量。”现在，马国华团队从优质的品种和科学的管理技术入手，使得檀香的成材期提前。他们还开展人工结香技术研究探讨，使 5 年生生长的檀香含油量达到 20 年檀香的含油量。

正是由于几十年的研究积累，原不能在中国规模化种植的檀香，如今已经在中国扎根。与此同时，中国也开始向其他国家输出种植技术。“我们与柬埔寨、老挝、马来西亚都有合作。”马国华高兴地看到慕名前来求教檀香栽培的人络绎不绝。

“宝马雕车香满路”“笑语盈盈暗香去”……这些带着香气的诗句描述的就是香料植物——檀香木。檀香树是古老而神秘的珍稀树种，被宗教界誉为“神圣之树”，被种植者称为“黄金之树”。而在植物学家马国华眼里，檀香是他的幸运树。

■ 新农评

应坚持农业农村现代化一体设计

■ 翁伯琦 罗士炎

没有农业农村现代化，就没有整个国家现代化。在现代化进程中，如何处理工农关系、城乡关系，在很大程度上决定着现代化建设事业的成败大小。习近平总书记强调指出，乡村振兴战略是党的十九大提出的一项重大战略，是关系全面建设社会主义现代化国家的全局性、历史性任务，是新时代“三农”工作总抓手。

习近平总书记就实施乡村振兴战略发表的系列重要论述，阐明了内在规律，指明了前进方向。通过理论与实践，我们要进一步强化思想认识并明确重要意义。需要强化明确的是：实施乡村振兴战略的总目标是农业农村现代化；总方针是坚持农业农村优先发展；总要求是产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕；而制度保障则是健全城乡融合发展体制机制和政策体系。就此，我们要坚持农业农村现代化和农村现代化一体设计、一并推进，实现农业大国向农业强国跨越。

很显然，实施乡村振兴是前无古人、后无来者的伟大创举，没有现成的、可照抄照搬的经验，需要我们着力创新与拼搏创业。不言而喻，拥有 13 亿多人口的大国，无论工业化、城镇化进展到哪一步，城乡互动发展的格局都将长期共生并存。40 年的改革开放，农业发展和农村建设取得了显著成就，为我国改革开放和社会主义现代化建设打下了坚实基础，广大农民在推进工业化、城镇化进程中作出了巨大贡献。进入新的时代，我们应该通过振兴乡村，开启城乡融合发展和现代化建设新局面。要真正让农业成为有奔头的产业，让农民成为有吸引力的职业，让农村成为安居乐业的家园。

有效推动乡村振兴战略实施，要着力强化综合措施。在资金投入、要素配置、公共服务、干部配备等方面采取有力举措，加快补齐农业农村发展短板，不断缩小城乡差距。切忌贪大求快，刮风搞运动；避免盲目无序，防止走弯路。要推动农业农村经济适应市场需求变化、加快优化升级、促进产业融合，加快推进农村生态文明建设、建设农村美丽家园，弘扬社会主义核心价值观、保护和传承农村优秀传统文化、加强农村公共文化建设、提高乡村社会文明程度，推进乡村治理能力和水平现代化、让农村既充满活力又和谐有序，不断满足广大人民群众日益增长的美好生活需要。

有效推动乡村振兴战略实施，要着力强化主体建设。抓好农民合作社和家庭农场两类农业经营主体融合，赋予双层经营体制新的内涵，不断提高农业经营效率。我国农耕文明源远流长、博大精深，这是中华优秀传统文化的根，要在实行自治和法治的同时，注重发挥好德治的作用，推动礼仪之邦、优秀传统文化和法治社会建设相辅相成。必须明确的是，打好脱贫攻坚战是实施乡村振兴战略的优先任务。贫困村和所在县乡当前的工作重点就是脱贫攻坚，要切实做到保持目标不变、靶心不散、频道不换，全面实施精准脱贫的工作目标。

有效推动乡村振兴战略实施，要着力强化融合发展。党中央已经明确了乡村振兴的顶层设计，各地要制定符合自身实际的实施方案，科学把握乡村的差异性，因村制宜，发挥亿万农民的主体作用和首创精神，善于总结基层的实践创造。因势利导地走城乡融合发展之路，向改革要动力，加快建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系，健全多元投入保障机制，增加对农业农村基础设施投入，加快城乡基础设施互联互通，推动人才、土地、资本等要素在城乡间双向流动。要建立健全城乡基本公共服务均等化的体制机制，推动公共服务向农村延伸、社会事业向农村覆盖。

有效推动乡村振兴战略实施，要着力把握内在规律。要紧紧围绕农民群众最关心最直接最现实的利益问题，加快补齐农村发展和民生短板，让亿万农民有更多实实在在的幸福感。要遵循乡村建设规律，坚持科学规划、注重质量、从容建设，一件事情接着一件事情办，一年接着一年干。实施乡村振兴战略要把握五个重点，即产业、人才、文化、生态、组织振兴。要正确处理四个关系，即长期目标和短期目标的关系、顶层设计和基层探索的关系、充分发挥市场决定性作用和更好发挥政府作用的关系、增强群众获得感 and 适应发展阶段的关系。促进农业全面升级、农村全面进步、农民全面发展。

有效推动乡村振兴战略实施，要着力强化党的领导。汇聚起全党上下、社会各方的强大力量。要把好乡村振兴战略的政治方向，坚持农村土地集体所有制性质，发展新型集体经济，走共同富裕道路。要进一步解放思想，推进新一轮农村改革，发挥政府在规划引导、政策支持、市场监管、法治保障等方面的积极作用。要充分发挥好乡村党组织的作用，把乡村党组织建设好，把领导班子建设强。人才振兴是乡村振兴的基础，要创新乡村人才工作体制机制，充分激发乡村现有人才活力，把更多城市人才引向乡村创新创业。

(作者单位:福建省农业科学院)