大话农科

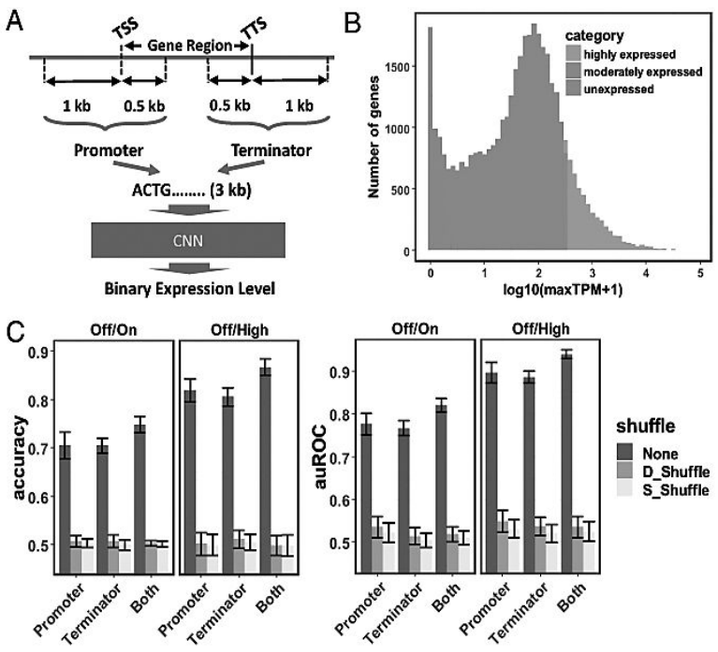
人工智能让育种“物美价廉”

■本报见习记者 韩扬眉

自从作物被驯化以来，培育集抗性强、优质、高产等性状为一体的作物品种一直是育种家的梦想。DNA 分子结构模型的发现推动了分子生物学的发展，让育种家们能够从基因和分子水平上解码作物的生命秘密，通过调控基因获得特定表型，以期培育出最想要的作物品种。

然而，如何调控作物基因才能培育优良品种？如何不用大规模田间试验就能预测基因变异后的作物生长状况？时至今日，这些问题依然困扰着育种学家们。

近日，中国农业科学院生物技术研究所副研究员汪海与合作者共同开发出从基因组 DNA 序列预测基因表达调控模式的人工神经网络模型，有望借助人工智能（AI）技术实现定向育种。相关成果发表在《美国科学院院刊》上。



预测二元化基因表达量的卷积神经网络模型建立

从经验到精准定向

育种，从某种意义上来说，是把来自不同种质资源的优良等位基因聚合起来。

作物育种经历了漫长的改良之路。传统育种是耕作者对作物表型变异的肉眼观察，通过主观判断选出高产优质抗性强的育种材料。后来，职业育种家出现，他们根据对作物遗传规律的认识，通过预先设计杂交育种试验，再从后代中筛选出优良栽培品种。

这些方法曾为作物改良、有效解决粮食安全问题作出了巨大的贡献。但在某种程度上，却都是基于经验和观察，完全根据表型对育种材料进行选育的“经验育种”。科学家曾“无奈”而又形象地将其形容为“一把尺子一杆秤，用牙咬，用眼瞪”。

“作物表型易受环境、气候等因素影响，依赖于经验育种效率低，且成本高、田间管理难度大。过去几十年甚至上百年来，基本是沿用这种方式，并无大的突破。”华南农业大学生命科学学院教授王海洋告诉《中国科学报》。

直到 20 世纪 50 年代，分子生物学与基因工程的诞生，打开了人类认识生命本质的大门。作物育种从经验育种时代进入了分子定向育种时代。这个时期，育种家可在明确基因型的表型效应的情况下，有的放矢地把符合预期要求的基因型进行组合。

“找到控制作物最佳性状的基因，对其进行标记，在后代中监测追踪，从而有目的地对单一目标性状进行基因改良，大大提高了育种效率和精确度。”王海洋说。

然而，伴随着高通量基因组测序技术的发展，越来越多的作物全基因组密码被解开。在海量的基因组数据面前，控制优良性状的基因是哪些？怎样的基因组合才能产出最优的作物品种？上述分子标记有效利用与定向育种的先决条件，人们却不得而知。

汪海表示，明确哪些分子标记和哪些性状相关联，需要借助机器学习模型或深度学习模型帮助育种家根据基因型预测表型。人工智能技术突破了人的经验，使作物育种更加精准而高效。

深度学习模型帮助预测优势品种

机器学习是借助计算机算法建立模型并解析数据，通过不断学习数据的自身特征并训练模型，从而实现对目标对象的判断和预测。

汪海告诉《中国科学报》，传统的基于线性模型的机器学习方法由于不考虑生物学过程背后的分子机制，造成模型不会“举一反三”，在某个基因上学习到的特征不能运用到相似分子机制的基因，而且不能有效预测低频、罕见变异的表型效应。以玉米为例，玉米自然群体中就有超过 50%的变异属于低频、罕见变异。

以基因组序列为预测变量的深度学习模型可以克服这一难点。

研究人员以基因家族代替单个基因为单位随机分配训练集和测试集数据，以解决“进化依赖”造成的模型“过拟合”问题。接着进一步利用多种算法对模型进行解析，获得了调控基因表达的关键 DNA 基序。在此模型基础上，研究人员利用进化上亲缘关系较近的两个物种，成功预测了同源基因的相对表达量，并进一步获得了调控同源基因相对表达量的关键 DNA 基序。

汪海表示，深度学习模型通过模拟分子生物学过程，可在自然群体中预测直接造成表型的因果变异，而非和因果变异紧密连锁的变异。未来可以针对因果变异进行基因组编辑，直接将有利自然变异引入现有的育种材料。

此外，与传统高投入、大规模的田间试验相比，人工神经网络模型可在计算机中对基因组 DNA 序列进行虚拟诱变，并利用模型预测变异的后果。“从而再挑选符合预期目标的变异序列进行实验验证，实现低成本定点定向设计育种。”汪海说。

智能化育种 4.0 时代

“这是作物优良基因挖掘方法的突破，也代表了未来的发展方向。”中国农业大学农学与生物技术学院植物遗传育种学系教授、国家玉米改良中心主任李建生告诉《中国科学报》。

以人工神经网络为代表的新一代人工智能技术具有更强大的数据挖掘能力，正推动作物育种走向智能化的“4.0”时代。

中国农业大学作物基因组与生物信息学系教授王向峰撰文以玉米为例，对育种“4.0 时代”进行了详细的阐释：依托人工智能、基因组测序、基因编辑等相关技术，实现玉米组学基因型与表型大数据的快速积累，通过遗传变异等数据的整合，实现作物性状调控基因的快速挖掘与表型的精准预测，通过人工改造基因元器件与人工合成基因回路，使作物具备新的抗逆、高效等生物学性状，并通过在全基因组层面上建立机器学习预测模型，创建智能组合优良等位基因的自然变异、人工变异、数量性状位点的育种设计方案，最终实现智能、高效、定向培育新品种。

在人工智能技术辅助育种方面，美国农业公司已有应用。比如原孟山都公司，通过人工智能筛选，只需对最具开发潜力的品种分子进行田间测试，即可帮助农民增收。此外，借助机器学习和预测建模技术，快速为农民提供数字化解决方案。

“中国要实现应用还有一段路程要走。”李建生表示，与国外农业公司种业集中度高、规模大相比，中国种业公司多为“作坊式”生产且分布分散，要实现高通量的基因筛选与预测，需要改良适合中国种业发展的模型和方法。

在研究方面，汪海坦承，目前，把深度学习等人工智能技术应用于基因组学领域在国内外都刚刚起步。

在他看来，阻碍人工智能技术在基因组学中广泛应用的因素之一是跨领域人才缺乏。“基因组学领域的人需要学习和掌握人工智能技术方法，并根据基因组学领域问题的特殊性，对人工智能技术进行改造。”

除此之外，训练深度学习模型需要大量的数据。然而在农业领域，作物的基因型和表型数据量却积累不足。

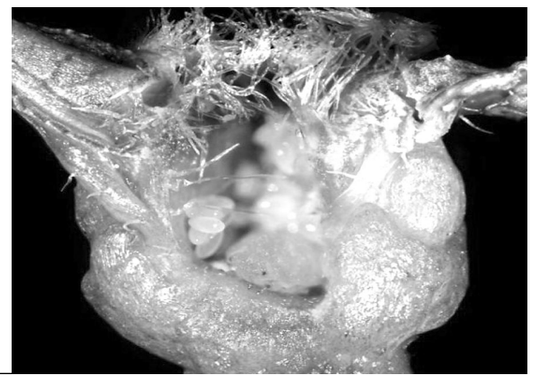
王海洋建议，研究人员在育种后，除了留下优质品种数据，也要保存非理想型品种的全套基因组和表型数据，以便数据建模时进行优劣比较，找出调控优良表型性状的基因。

大数据时代下智能化育种的前提是标准化大数据体系。而农业数据采之不易且不统一，王海洋表示，作物表型数据差异性较大，不同人采集的数据真实可靠性与准确性也难以控制。除此之外，彼此数据不开放共享，使得研究中可比较的数据量少。“有数据是第一步。对数据进行规范化采集处理、存储与管理，并建立开放共享的数据库更重要。”

相关论文信息：
DOI:10.1073/pnas.1814551116

环球农业

虫子劫持葡萄为自己“盖房”



立体显微镜拍摄的虫卵横截面图

图片来源：美国托莱多大学

葡萄根瘤蚜在叶上形成虫瘿，在根上形成小瘤，最终导致葡萄植株腐烂死亡。其严重危害欧洲和美国西部的葡萄，如 19 世纪末在法国几乎毁掉葡萄酒生产。

美国托莱多大学一个科学家团队发现了昆虫和植物间亲密关系的令人恼火的细节，为保护世界各地的葡萄酒、葡萄干、葡萄果酱等的来源——葡萄藤免受重大农业害虫的侵害打开新大门。

虫瘿是植物上比弹子球大一点的器官，看起来像疣、花或果实。研究团队发现葡萄根瘤蚜劫持葡萄藤的繁殖程序来制造虫瘿，虫瘿为它提供一个吸取植物养分及繁殖的寓所。该成果发表于最新一期的《自然—科学报告》。

“当虫瘿在叶子上形成时，花的基因就打开了。它们本不该被激活，但昆虫操作性地把自己的信号插到通道中以获得类似花朵的结果。”托莱多大学 Jesup Scott 荣誉学院院长、环境科学系教授 Heidi Appel 说道。

昆虫产卵并开始利用植物的生殖遗传机制，引导植物创造这些结构。虫瘿的真正建造者其实是植物本身。

托莱多大学研究开发高级执行主任 Jack Schultz 也表示，1867 年，达尔文在观察到虫瘿被切开后与桃子内部有一定程度的相似性时，提出了这个想法。

“我们检验了达尔文的假设，发现昆虫迫使植物利用相同的基因来制造一种虫瘿，而植物本是用来制造花朵或者果实的。”Schultz 说。

Appel 进一步介绍，“在每种情景下，我们遗传监测植物在虫瘿每个阶段的变化，也就是昆虫向其注入信号的整个经过。这个信号接管了植物的发育过程，并告诉植物在叶子上做一个虫瘿，而不是在其他正常的植物组织上。”

> “虫瘿是植物上比弹子球大一点的器官，看起来像疣、花或果实。研究团队发现葡萄根瘤蚜劫持葡萄树的繁殖程序来制造虫瘿，虫瘿为它提供一个吸取植物养分及繁殖的寓所。

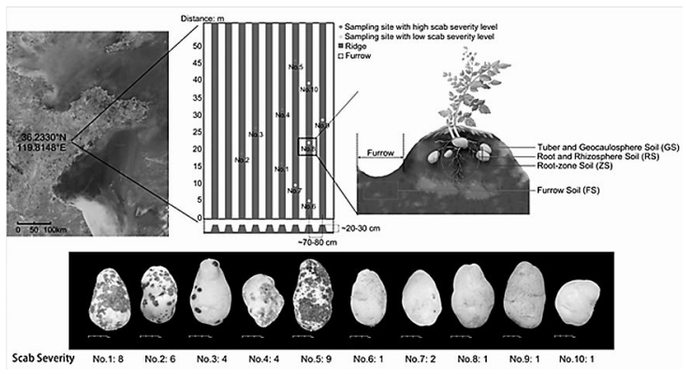
虫瘿通过消耗资源和阻碍光合作用毁坏葡萄，导致产量降低。通过识别葡萄树中不得不被激活以产生虫瘿的基因，科学家接下来可以找到一种阻止昆虫攻击植物的方法。

“北美的葡萄藤已经发展出抗根瘤蚜的能力，一种选择是杂交培育具有遗传抗性的植物，很多研究团队都致力于抗根瘤蚜葡萄新品种的研究工作；另一个选择也可以是研发一种基于生物防护的杀虫剂，在葡萄藤上喷洒，以控制植物在不同时间段活跃的激素。”Schultz 说道。

一旦葡萄根瘤病得到控制，将会大幅提升葡萄的产量，改善葡萄园管理，以并保护数以亿计的葡萄酒衍生行业产品。 （王方编译）

相关论文信息：*DOI: 10.1038/s41598-018-38475-6*

前沿



研究发现马铃薯疮痂病与土壤微生物群落紧密关联

本报讯 马铃薯疮痂病是世界上普遍发生的一种顽固性病害，可造成 10%至 30%的减产，部分地块甚至减产 40%以上。感染该病的马铃薯表皮有不少疮疤，不耐贮藏。研究人员大都聚焦在研究该病致病菌生痂链霉菌的单一作用，而在生产中此菌和土壤微生物是否有协同作用并不清楚。近日，山东农业大学生命科学学院教授高峥和副教授周波团队揭示了马铃薯疮痂病发病新机制，认为土壤微生物种群的组成和功能与马铃薯疮痂病的严重程度有关。研究成果发表在国际知名学术期刊《微生物组》（Microbiome）上。

该课题组在研究中发现，在实验室使马铃薯人工感染生痂链霉菌，或对马铃薯进行生防菌处理，开展相关研究时效果明显。但是若用这些植株做室外栽培实验，结果就不理想。由此研究者设想，是否土壤微生物组对马铃薯疮痂病有作用？

按照发病等级，该课题组选取发病较重和发病较轻的马铃薯植株，每株采集薯表土、根际土、根区土、垄沟土。研究人员通过荧光定量 PCR 和扩增子高通量测序发现，薯块表层微环境与疮痂病发生紧密相关。与发病重的样品相比，发病轻的薯表土病原菌和细菌丰度较低，细菌多样性较高，菌群共存网络较复杂。

他们通过相关性分析，发现土壤中贪食菌、寡养单胞菌和农杆菌等微生物与疮痂病有显著的正相关关系，而地芽孢杆菌、短杆菌和某类地嗜皮菌与疮痂病则呈现明显的负相关关系。

为进一步解析微生物群落功能与疮痂病发生的联系，该课题组又进一步对薯表土进行了宏基因组测序，也就是通过直接从环境样品中提取全部微生物的 DNA，研究环境样品所包含的全部微生物的遗传组成及其群落功能。研究发现参与腺苷三磷酸结合转运蛋白、细菌分泌系统、群体感应、氮代谢和一些细胞色素 P450 相关代谢途径的基因富集在发病重薯表土中，这些功能多数与植物病害发生以及疮痂病毒素合成相关。同时，他们也发现抗生素合成相关代谢途径的因子富集在发病轻的薯表土中。

此研究首次系统解析了土壤微生物组成和功能与马铃薯疮痂病的关系，对揭示疮痂病的发生机制和防治疮痂病提供了重要的支撑。 （张晴丹 郭翠华）

新农评

我国热带农业“走出去”如何破解人才瓶颈

■叶庆亮

随着农业“走出去”战略和“一带一路”倡议的实施与推进，传统农业往来早已发展为以科技、人才、商贸等为重点的全方位农业大协作。而热带农业，作为我国农业和农村经济社会发展中占有特殊地位的组成部分，“走出去”参与全球热带农业资源配置的需求日趋强烈。

然而，限于地理区位和历史现实等原因，我国涉农人才存在总量严重不足、结构极不合理、复合型人才奇缺等诸多问题，已然成为困扰我国热带农业“走出去”的重大瓶颈。通过调研，发现这一瓶颈主要表现在以下五个方面。

一是热带农产品国际贸易人才紧缺。随着我国对外贸易的扩大，国内外涉农类经营企业对国际贸易类专业人才的需求不断增加。国际热带农产品贸易中涉及到的诸如报价、订货、备货、包装等，均需专业的国际贸易人才参与方可完成。而那些熟悉国际规则和流程、国际农业技术法规的热带农业类贸易类人才，目前非常紧缺。

二是热带农业经营管理类人才短缺。企业需要迅速捕捉市场信息、敏锐把握行业形势、精心策划市场战略，这就要求优秀的经营管理人才以全球战略眼光，充分利用国内外两个市场两种资源，有效配置企业自身资源，重组发挥自身优势，提升自身核心竞争力。但可惜的是，热带农业这方面的优秀人才目前还非常短缺。

三是热带农业外语翻译类人才欠缺。热带农业“走出去”涉及的东南亚、非洲和大洋洲等地区，所使用的语言，除通用英语外，还涉及法语、马来语、印尼语、菲律宾语、阿拉伯语等语种。热带农业“走出去”要想得到纵深推进，语言畅通是首要条件，必须拥有能熟练运用那些非通用语言的翻译类人才作为支撑。但遗憾的是，这方面的人才目前也非常欠缺。

四是热带农业复合型人才稀缺。热带农业“走出去”想要顺利推进，根本无法绕开所涉地区在地域历史、民族宗教、文化信仰等方面存在的差异问题。而目前，既具有全球化视野和意识，通晓当地语言文化，又精通热带农业相关知识，了解国际惯例与规则，熟悉投资国的法律法规、政治信仰、风土人情等的复合型人才，十分稀缺。

五是热带农业外事类人才匮缺。热带农业要想成功“走出去”，必须拥有一支能够切实担负起维护我国国际利益的高层次农业外事人才队伍，力争为我国热带农业“走出去”提供强大的精神动力和智力支撑。但当前，我国热带农业外事人才极度匮乏，已经严重制约热带农业“走出去”的整体发展。

有鉴于此，我国热带农业界迫切需要在以下五个方面展开工作。

一是开展热带农业对外援助人才培训。围绕世界热区国家农业发展现状与需求，充分发挥中国热带农业科学的特色和优势，建设一个集国际培训、学历教育、人员互访、学术交流、政策咨询、联合研究、技术支持和后勤保障等多功能于一体的人才培训基地，重点在热作科技领域开展系列主题培训和管理研修班，努力在国内外热区国际合作人才培育上造就资深科技专家、政策研究人员、知识产权要员、国际经贸组织人选等多种类人才队伍。同时，还应根据对外合作重点国别的发展需求，积极组织实施海外农业人才培训专项。

二是做好热带农业企业“走出去”能力拓展。热带农业“走出去”，产业是载体，企业是主体，必须设法汇集最新热带农业科技成果，吸引相关人员参与培训，提升企业人员整体素质，服务热带农业产业“走出去”、企业“走出去”。针对有着雄厚基础的农垦等“走出去”企业骨干人员，开展包括“一带一路”政策解读、热带农业种养技术、农业国际化经营操作实务、管理能力和外语能力提升等培训，力争在国内外热区培养一批“精技术、善经营、懂管理、会外语、通风俗、了解国际惯例与规则”的复合型经营管理类人才队伍。

三是强化热带农业优秀人才联合培养。针对热带农业跨国经营所需的人才要求和标准，我国涉农高校可尝试面向社会、企业和市场的人才培养新途径，深化与农业跨国经营企业的联系，积极探索和优化办学模式。以“一带一路”沿线热带国家农业领域的大学毕业生、专家学者、技术人员、管理人员或政府官员为对象，与我国高校联合招收已获得本科或硕士学位、英语水平较高和相关专业背景的留学生，重点涉及农学科专业领域。

四是实施热带农业国际合作储备人才培育工程。积极承担“扬帆出海”工程培训任务，围绕热带农业科技创新、农业和农村政策理论、提升领导和组织能力等方面，以我国热区九省区的农业科技管理人才为培养对象，培养造就一大批政治过硬、业务精良、外语精通、实干能干肯干，并具备国际视野和全球战略思维的复合型人才，充实到热带农业“走出去”实施队伍中。

五是创新热带农业外事人才培养机制和模式。明确不同的培养目标、重点任务、培养途径，根据不同类别的外事人才队伍开展分类培养与管理，出台配套政策，建立和完善农业外事人才队伍建设长效机制，如建立专项基金加大培养力度，针对不同需求实施分类培训，特别是语言培训，要将业余培训与脱产培训相结合，长期培训与短期培训相结合，国内培训与国外培训相结合。

人才兴，则事业兴。我国热带农业“走出去”要想得到持续良好的推进和深化，最核心的要素在于人才。破解如鲠在喉般的人才瓶颈，最大程度地发挥各类人才的积极性和创造性，不仅是我国热带农业“走出去”的必要途径，也是成功实施“一带一路”倡仪的重要一环。

（作者系中国热带农业科学院科技信息研究所国际合作研究室副研究员）