

# 2016年农业科学热点回眸

陶志强, 常旭虹, 王德梅, 杨玉双, 赵广才

中国农业科学院作物科学研究所, 农业部作物生理生态重点实验室, 北京 100081

**摘要** 2016年中国农业科学领域全面提升了农业科技创新能力和效率, 重大科研成果不断涌现, 多个领域取得了一批原创性、高水平研究成果。为追踪农业科学领域发展的前沿和热点, 展现农业科学取得的杰出成就, 本文回顾2016年作物科学、园艺科学、植物保护、农业资源与农业区划、农业环境与可持续发展、兽医、生物技术、农业机械化、农业质量标准与检测领域取得的部分重要进展。

**关键词** 农业科学前沿; 科学热点; 研究进展

2016年中央“一号文件”突出强调农业科技创新, 把推进农业科技创新作为农产品生产保供和现代农业发展的支撑, 在中国农业科技史上具有里程碑意义。这是党中央、国务院科学把握现代农业发展规律、立足当前、着眼长远做出的重大决策, 是促进现代农业发展的重大部署。2016年, 中国农业科技创新步伐明显加快, 涌现出一批科技成果, 在主要农作物科学、植物保护、畜禽科学、农业机械化等领域取得重要进展, 对提升农业生产能力、改善农村生态环境、提高农民生活水平发挥了重要作用。基于现代农业发展成就, 本文从主要农作物科学、园艺科学、植物保护、农业资源与农业区划、农业环境与可持续发展、兽医、生物技术、农业机械化、农业质量标准与检测等9个领域, 展示了2016年农业科技取得的重要进展。

粒发育、产量和品质形成的分子基础, 遗传调控分子机制和抗衰老调控机理等相关研究和技术的发展, 挖掘影响作物产量和品质的基因资源, 加快主要农

作物遗传改良进程的重要手段和优秀成果大量涌现。

对基因组进行定点修饰, 包括关键基因的定点敲除、替换及外源基因的定

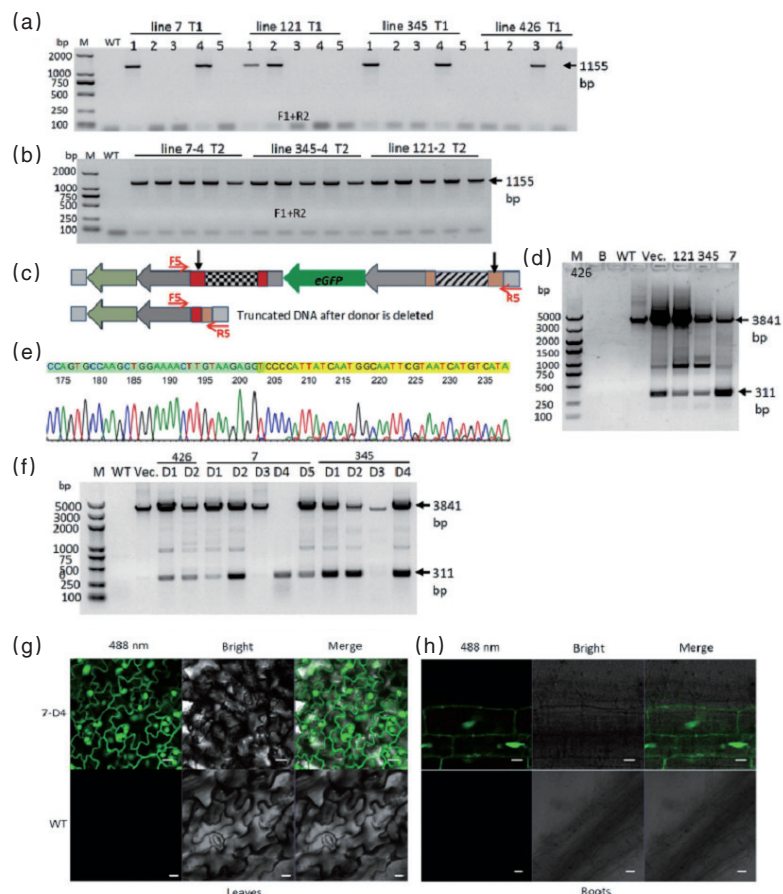


图1 植物中精确基因的删除与替换

## 1 主要农作物科学

作物基因与分子设计、作物遗传育种、农机农艺融合作物绿色增产增效技术集成模式研究与示范3个领域的农业科技创新能力取得了一批原创性、高水平的研究成果。

### 1.1 作物基因与分子设计

随着作物基因组定点修饰, 解析籽

收稿日期: 2016-12-25; 修回日期: 2017-01-06

作者简介: 陶志强, 助理研究员, 研究方向为小麦优质高产栽培理论与技术, 电子信箱: taozhiqiang@caas.cn; 赵广才(通信作者), 研究员, 研究方向为小麦优质高产栽培理论与技术, 电子信箱: zhaoguangcai@caas.cn

引用格式: 陶志强, 常旭虹, 王德梅, 等. 2016年农业科学热点回眸[J]. 科技导报, 2017, 35(1): 64-77; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.01.008

点整合,这些已成为解析重要农艺性状的功能基因鉴定、复杂农艺性状的调控网络和新种质创制,加快重要农作物遗传改良进程的主要手段。中国农业科学院作物科学研究所夏兰琴团队与华中农业大学“千人计划”引进人才、美国加州大学圣地亚哥分校教授赵云德实验室合作,利用改造后 CRISPR/Cas9 系统,成功在水稻中实现靶标基因高效单碱基定点替换,建立了重要农作物 CRISPR/Cas9 介导的基因组定点修饰体系<sup>[1]</sup>。该结果可望大大加快农作物育种进程,具有重要理论价值和应用前景。中国农业科学院作物科学研究所谢传晓团队研究结果表明,二元 RNA 向导的 CRISPR/Cas9 系统技术可以作为目标基因(DNA)删除与基因替换的工具(图 1)<sup>[2]</sup>。中国水稻研究所王克剑团队通过对 Cas9 蛋白进行定点修饰,使得 CRISPR/Cas9 系统在水稻中可编辑范围拓展到现有的 2 倍以上<sup>[3]</sup>;该团队研究结果表明,LbCpf1 能够完成对水稻基因组的有效编辑,CRISPR-Cpf1 系统能在植物中发挥基因组编辑的功能<sup>[4]</sup>,该结果为植物基因组编辑提供了新的编辑工具,拓展了植物基因组的可编辑范围;该团队还利用 CRISPR/Cas9 系统对产量性状 QTL 基因 *GS3* 和 *Gn1a* 进行定点编辑,QTL 编辑导致了单株有效大分蘖数目的变化,而单株有效大分蘖数目的变化直接决定了最终单株产量的变化<sup>[5]</sup>。

基因层面上研究谷物籽粒发育,不仅有助于我们认识其发育的分子机制,而且有可能为粮食作物分子改良提供新的方法和途径。中国农业科学院作物科学研究所王国英团队研究结果表明,玉米 *UBL1* 基因影响 mRNA 转录后的剪接;*UBL1* 基因具有核酸外切酶活性,负责细胞内剪接体复合物的重要组分 U6 snRNA 的修饰,功能缺失导致其总量减少及部分 3' 末端修饰异常,从而造成 mRNA 的剪接障碍,该基因在玉米籽粒和幼苗发育中发挥着关键作用(图 2)<sup>[6]</sup>。

随着生活水平的提高,消费者对稻米和面粉的品质提出更高要求。谷蛋

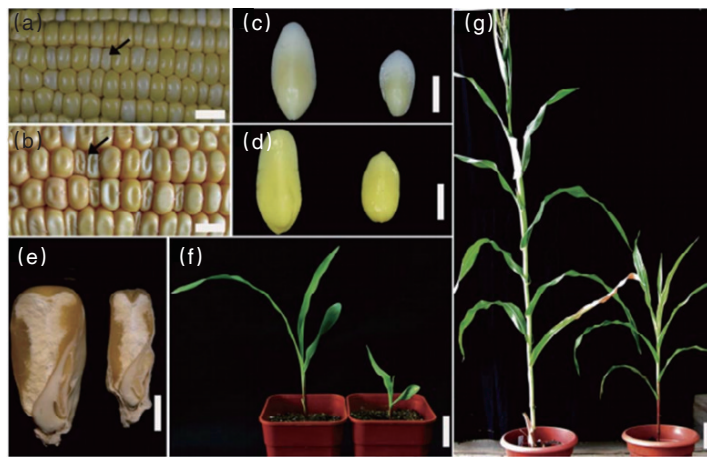


图 2 *UBL1* 基因调控玉米籽粒发育

白是稻米蛋白质品质改良的首选目标,中国农业科学院作物科学研究所万建民科研团队的研究结果表明,水稻蛋白转运突变体 *GPA4* 编码一个进化上保守的膜蛋白 *GOT1B*,该蛋白定位于与顺式高尔基体相连的内质网输出位点 ERESs, *GOT1B* 通过与 COPII 有被小泡组分 *Sec23c* 互作,调控 COPII 有被小泡的形成,进而调控谷蛋白的内质网输出,这一结果基本明确了 *GOT1B* 的生物学功能,为探讨真核生物中 COPII 有被小泡组装的调控机制提供了新的视角,并为育种家改良稻米蛋白质品质提供了重要理论依据(图 3)<sup>[7]</sup>。中国水稻研究所种质创新团队分离了影响水稻糙米率的重要数量性状座位(QTL) *qBRR-10*,该 QTL 增加了谷粒的厚度并降低了颖壳的比重,该结果有助于为培育出糙率高和优质水稻新品种提供新线索<sup>[8]</sup>。当前,面粉颜色性状已成为小麦品质评价及遗传改良的重要内容。中国农业科学院

作物科学研究所何中虎团队研究结果表明,天冬氨酸富集区(DXXXD)是八氢番茄红素合酶 1(PSY1)重要功能结构域,其附近保守核苷酸通过调控基因表达、酶活性及选择性剪接等方式影响黄色素合成,花后 14 d 是小麦籽粒 *Psy1* 表达调控的关键时期<sup>[9]</sup>。

解析作物叶片抗衰老的调控机理是作物增产的新思路。中国水稻研究所水稻基因组模块创新团队利用 1 个与水稻叶片早衰相关的突变体叶尖枯 1 号(*lts1: leaf tip senescence 1*),借助图位克隆的手段分离了 *LTS1* 基因,用该基因编码 NAD 补偿了合成途径中的 1 个关键限速酶——烟酸磷酸核糖转移酶;*LTS1* 基因的突变会扰乱水稻叶片中的 NAD 补偿合成途径,从而显著增加了烟酰胺的含量,减少了 NAD 含量;烟酰胺含量的激增会严重抑制沉默信号调控因子(一种组蛋白去乙酰化酶) *OsSRTs* (*Oryza sativa* silent information

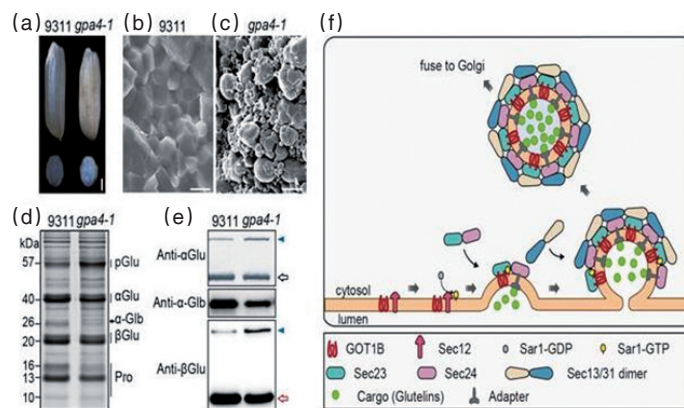


图 3 稻米蛋白质品质形成的分子基础

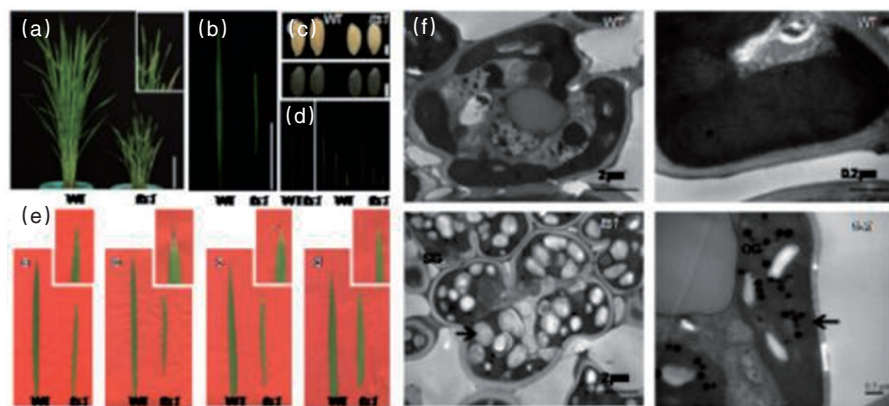


图4 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸合成途径中关键限速基因的克隆和功能解析

regulator 2) 基因的表达;同时,诱导 *Os-SRTs* 基因,启动了特异修饰组蛋白 H3K9 衰老调控基因,提高了乙酰化修饰水平,从而激活了这些衰老相关基因的转录,导致水稻叶片的早衰(图4)<sup>[10]</sup>。

### 1.2 作物遗传育种

作物产量提高的主要育种改良目标集中在穗形、穗粒数、穗数、粒重方面的研究诸多。中国农业科学院作物科学研究所徐建龙团队与中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所林鸿宣团队共同研究,克隆到了1个控制水稻穗粒数性状的数量性状基因(QTL) *GNP1*, 含有一个赤霉素合成相关基因 *GA20ox1*, 对 *GA20ox1* 的功能分析表明在水稻穗部性状发育调控过程中赤霉素也发挥着重要的作用,进一步

的分析揭示了 KNOX 家族转录因子介导的赤霉素和细胞分裂素参与水稻穗部性状发育调控信号间的再平衡机制(图5)<sup>[11]</sup>。该研究为穗部性状发育的复杂调控机理研究提供了新思路,也为高产育种提供了新策略。

随着高通量测序和分析技术的发展, DNA 混池分析大大降低了分析成本,因而得到更为广泛的应用。中国农业科学院作物科学研究所徐云碧团队拓展的混合样品分析方法可用于基因定位、挖掘和克隆;它不受物种、群体或基因型分析平台的限制,与物种是否具有参考基因组无关;既可以应用于自然群体,也可以应用于双亲分离群体;适合于不同的基因型鉴定平台,包括单个的分子标记、高密度标记芯片和基于测

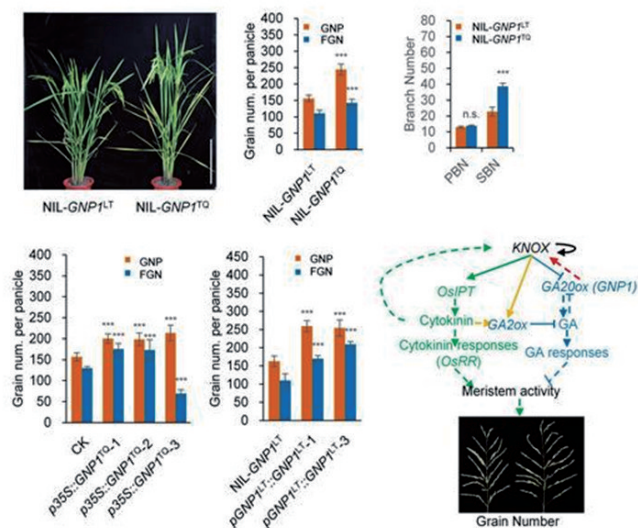


图5 赤霉素参与水稻穗型调控新机制

序的分子标记系统等;可在不同的分子水平上进行,包括 DNA、RNA 和蛋白质(图6)<sup>[12]</sup>。该研究为利用基因组技术和优异种质资源,挖掘重要农艺性状基因并应用于作物改良提供了捷径。

精确测定和评价影响作物生长发育的所有环境因子是未来高效表现预测和作物改良的关键。中国农业科学院作物科学研究所徐云碧团队多年来对环境因子的精确测定和评价进行了理论和方法的探索,在国际上首次提出了环境型和环境型鉴定的概念,把环境型定义为影响作物生长发育的所有环境因子的组成和变异,环境型鉴定定义为对所有环境因子的组成和变异的精确测定和评价。环境型鉴定的主要应用包括:环境特征分析、基因型×环境互作分析、表现型预测、近等环境型构建、农艺组学研究、精准农业、精准育种等。全方位环境型信息还将应用于发展包括基因型、表现型、环境型和发育时间构成的作物科学四维图像。“环境型鉴定”概念的倡导,为包括作物育种在内的作物科学提供了解码环境影响的参考技术和途径。环境型鉴定与基因型鉴定和表现型鉴定一起,有望成为影响未来作物高效育种和生产的三大支撑技术,同时对数量遗传学和作物模拟等领域如何利用海量环境型信息提出了挑战(图7)<sup>[13]</sup>。

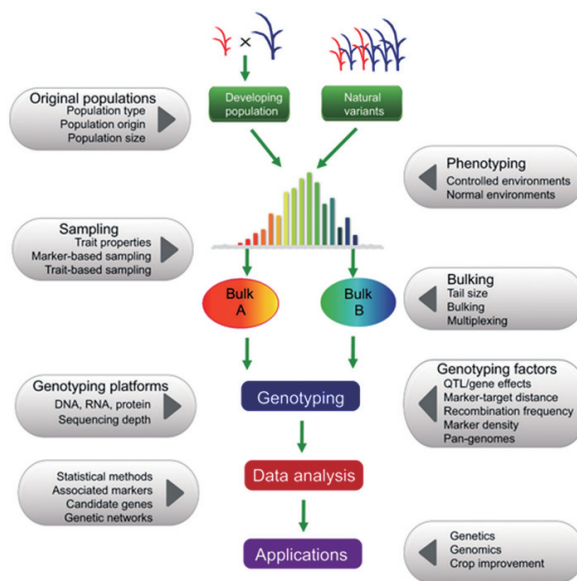


图6 混合样品分析新策略

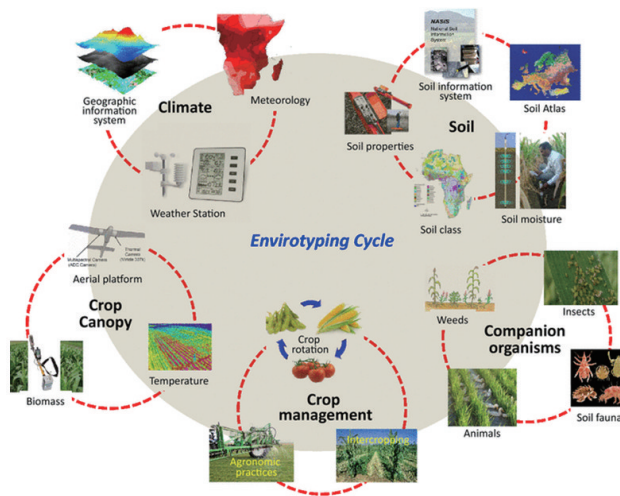


图7 环境型鉴定信息流

### 1.3 农机农艺融合作物绿色增产增效技术集成模式研究与示范

作物绿色增产增效技术集成模式研究与示范需要建立“科研单位+地方政府+企业+农户”的产、学、研相结合的技术研发和推广平台,发挥科研结构、地方政府、企业结合的整体优势,有利于形成强大的集群攻关突破能力,将作物技术集成提升到了一个新的高度。中国农业科学院作物科学研究所集成7项小麦支撑技术,包括节水优质小麦新品种、小麦规范化精量播种技术、小麦测墒补灌节水技术、小麦测土配方减量施用技术、小麦病虫害防控技术、小麦全程机械化生产技术、小麦品质分析与监控技术,示范区平均每亩减少浇水1次、节水40 m<sup>3</sup>,种子用量从15 kg以上降至10 kg左右,农药、肥料施用量进一步减少,充分体现了“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念<sup>[14]</sup>。由中国农业科学院作物科学研究所牵头,组织院属其他研究所相关创



图8 小麦立体匀播机(a)和出苗后不同播种方式的比较(b)

新团队的大豆科技骨干,联合国家大豆产业技术体系、国家农业科技创新联盟、示范区所在省市农业科研院所、各级农业技术推广部门、相关企业的科技力量通过整合优质食用大豆新品种、大豆玉米轮作倒茬技术、深松浅翻蓄水保墒技术、信息化精准生产技术、减量增效施肥技术、病虫害绿色防控技术、除草剂安全施用技术、全程机械化生产技术、品质评价与食品加工技术等9项核心技术,黑龙江省建设农场的示范区大豆实收测产,平均亩产达到219.79 kg,比周边常规生产方法高60.6 kg,增产27.6%,每亩增收242.4元,解决了粮豆持续稳定高产、种植效益提升、生态环境保护等问题<sup>[15]</sup>。

农机农艺融合,研发主粮作物节本增效的播种技术,是当前粮食作物领域的研究热点。针对当前小麦生产中经常出现的播种深浅不一,出苗不齐,缺苗断垅,行内拥挤,行间裸露,单株麦苗占有土地资源 and 营养空间不同,个体发

育不均衡等影响产量的现象,如何提高播种质量、调节植株分布形式、减少个体间竞争、建立合理群体结构、实现小麦丰产丰收,是一个重要的生产问题。中国农业科学院作物科学研究所赵广才团队研发了小麦立体匀播技术,能够在田间残茬条件下高质量一次性完成施肥、旋耕、播种、第一次镇压、覆土、第二次镇压等多道工序的作业过程。实现相对一致的匀距、等深播种,精细覆土,两次镇压,使每株小麦都有地下和地上相对均衡的立体营养空间。其特点表现在:一是匀距等深播种,提高了一播全苗的水平,为壮苗越冬打好基础;二是两次镇压,解决当前生产中存在的抗旱节水、保水保苗的问题;三是以机械化为主体,把栽培技术融合到农业机械中,农机农艺结合,多项作业一次完成,省工节本增效<sup>[16]</sup>。该技术方法简便,是面向生产和接地气的实用技术成果(图8)。

## 2 园艺科学

随着生活水平的提高,消费者对于蔬菜瓜果品质与品种多样性的追求不断提高,解析其分子机制,培育满足市场需求的产品已成为科研领域的研究热点,本文展示相关研究的部分原创性、高水平研究成果。

### 2.1 蔬菜花卉

要找回蔬菜“好吃”的味道,意味着必须实现对次生代谢产物在作物中的分布进行精准调控:可食用的部位可积累令人愉悦的化合物但要避免“天然农药”的产生。中国农业科学院蔬菜花卉研究所协同中国农业科学院深圳农业基因组研究所,联合国内外多家科研单位,将基因组等大数据应用到植物次生代谢研究中,揭示了葫芦科植物具有非常相似的苦味性状驯化历史;利用这一趋同驯化的特点,育种家可实现对西瓜、甜瓜根中和果实中的苦味性状分别进行精确调节:一方面确保果实中不积累苦味物质,保证商品品质,另一方面提高根中的苦味含量以抵御土壤中的病菌、害虫侵害(图9)<sup>[17]</sup>。

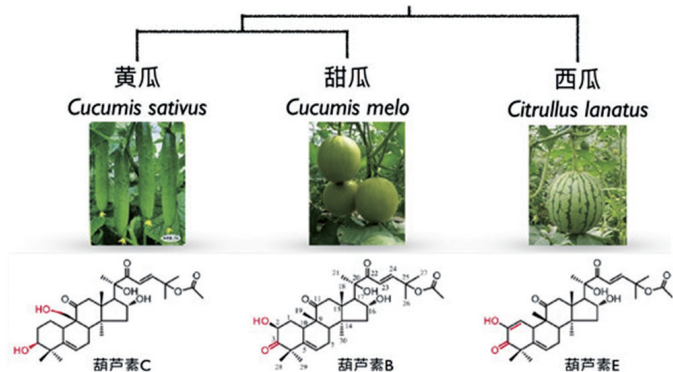


图9 葫芦科植物主要的苦味物质

白菜和甘蓝类蔬菜为什么都能形成叶球或者膨大根(茎)这样非常相似的性状? 这一直是一个待解的难题。研究人员发现,这2个物种分别产生结球白菜和结球甘蓝,芜菁和苜蓿这种具有相似的产品器官的现象与其共同祖先的一次全基因组三倍化事件有关。通过分析选择信号与亚基因组的关系,获得2个重要发现:第一,亚基因组的存在促进了结球、根(茎)膨大等性状的驯化,进而形成器官形态的多样性;第二,同源基因的平行选择是导致不同物种驯化形成类似产品器官的重要原因(图10)<sup>[18]</sup>。

芸薹属作物的系统比较研究亟待补充基础数据,为芥菜类作物的优异基因资源挖掘和农艺性状改良打下基础。中国农业科学院蔬菜花卉研究所王晓武研究团队与浙江大学张明芳研究团队联合确定了芥菜的A基因组来源,揭示了芥菜多倍体基因组上同源基因的表达与选择机制;发现显著差异表达的同源基因具有更快的进化速率,且芥菜中菜用和油用类群的分化与同源

基因差异表达相关,表明同源基因差异表达对多倍体演化起着重要作用;分析发现,芥菜和油菜的A基因组来源不同,芥菜(AABB)的A基因组来源于白菜型油菜,油菜(AACC,C为甘蓝)的A基因组起源于欧洲芜菁(图11)<sup>[19]</sup>。

淡紫拟青霉是农业上重要的生物防治真菌,对于植物线虫和多种病虫害具有高效生防作用,次级代谢产物是生物防治中重要的活性因子。中国农业科学院蔬菜花卉研究所谢丙炎团队与中国科学院微生物研究所尹文兵团队合作确定了脂肽类抗生素 leucinostatins 的生物合成基因簇,解析了其生物合成途径,并证明簇内转录因

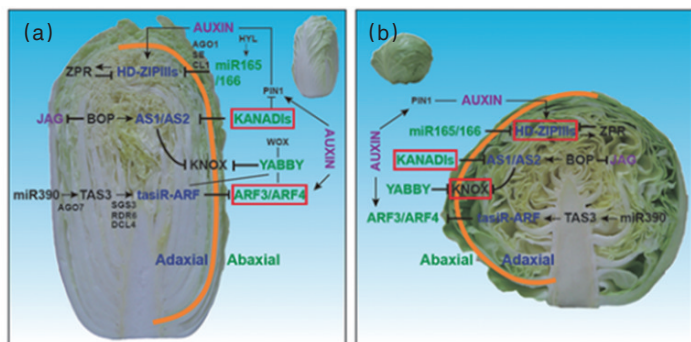


图10 白菜和甘蓝类蔬菜叶球形成和根(茎)膨大相关基因

子的过表达使 Leucinostatins 的产量提高 1.5 倍;同时发现淡紫拟青霉的 leucinostatins 除具有杀线虫活性外,对马铃薯晚疫病菌也具有抑制活性(图12)<sup>[20]</sup>。

基因组的注释主要基于预测软件和已知蛋白的同源搜索,不可避免地导致编码蛋白质基因的错误注释和丢失、假基因广泛存在。中国农业科学院蔬菜花卉研究所张友军团队利用获得的小菜蛾 BBMV 蛋白质谱图,鉴定到了大量与小菜蛾杀虫剂抗性相关的蛋白质,同时,还纠正了小菜蛾的基因注释,鉴定了大量新基因以及新的基因剪切形式<sup>[21]</sup>。该结果是小菜蛾蛋白质基因组方面研究取得的重要突破,为阐明小菜蛾对 Bt 杀虫剂抗性调控网络提供了重要的遗传信息。

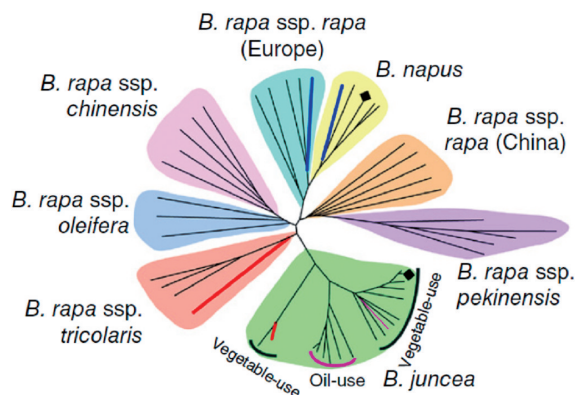


图11 芥菜和黑芥基因组的测序分析

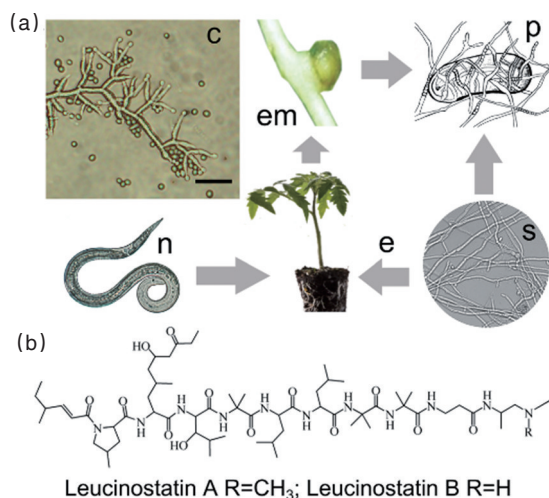


图12 脂肽类抗生素 Leucinostatins 的生物合成途径

## 2.2 果树

针对在桃上仅有个别性状的关键基因得到鉴定、分子标记辅助育种工作也进展缓慢的问题,中国农业科学院郑州果树研究所联合北京畜牧兽医研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所基因组学专家完成了桃基因组重测序工作(图13),并在此基础上采用全基因组关联分析方法确定了12个重要农艺性状(果实风味和外观)的候选基因(致因突变)位点,为解析桃不同性状形成的遗传机制和分子育种提供了重要资源<sup>[22]</sup>。

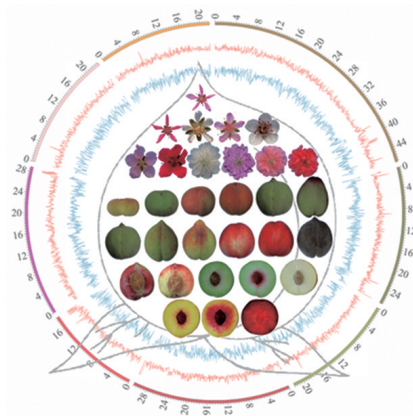


图13 桃表型与基因组多样性

## 3 植物保护

为揭示蚜虫感受报警信息素的机制,并利用这一行为特性发展蚜虫控制策略。中国农业科学院植物保护研究所王桂荣团队利用RNA干扰技术敲除蚜虫体内OR5基因,蚜虫丧失了报警行为,进一步明确了蚜虫特异、灵敏地感受EBF的嗅觉受体和神经,并且证实了激活OR5的化合物就能够像EBF一样对蚜虫有驱避作用,阐明了蚜虫感受报警信息素的信号传导通路,建立了嗅觉受体和昆虫行为的关系,证实以气味受体为靶标筛选昆虫行为调控剂的可行性,为发展绿色环保的害虫防治策略提供了新思路和新方法(图14)<sup>[23]</sup>。

随着国际贸易的飞速发展,外来物种入侵问题愈加突出,形势愈加严峻,竞争取代将继续成为入侵生态学领域的研究热点。中国农业科学院植物保护研究所农业昆虫研究室高玉林团队

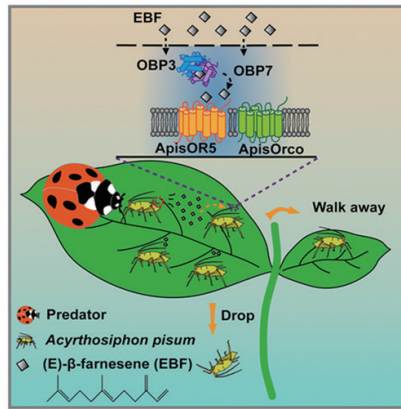


图14 蚜虫感受报警信息素机制

和美国俄勒冈州立大学 Stuart Reitz 联合,系统分析了过去15年来全球100多个国家(地区)近百种物种间竞争取代的经典案例。结果表明,外来生物入侵明显加剧了物种竞争取代及种群地位的演化,在特定区域甚至加快了物种多样性的丧失<sup>[24]</sup>。该研究成果全面诠释和完善了物种竞争取代理论,丰富了入侵生物学学科发展。

农民对杂草的防除方法就是加大施药剂量和施药次数,从而造成抗药性杂草的产生以及粮食安全问题。中国农业科学院植物保护研究所张朝贤团队通过示范直播稻田“秸秆还田+土壤封闭+茎叶杀”的标准操作规程,对于直播稻田难以防除的千金子和稗草均取得了非常好的控制效果(稻田杂草的防效可达99.1%)<sup>[25]</sup>,既简化了除草过程,节省了人工,又减少了除草剂的用量,有效防除了旱直播稻田的杂草危害,受到农民的欢迎。

深入研究水稻-稻瘟菌互作机制,对提出新的病害防控策略和培育抗稻瘟病的水稻新品种具有重要意义。中国农业科学院植物保护研究所王国梁团队解析了稻瘟菌引起水稻细胞坏死以及水稻抑制稻瘟菌从活体营养阶段转换到死体营养阶段的分子机制,结果揭示了寄主R蛋白通过稳定病原菌效应蛋白在寄主中的靶标蛋白,从而抑制效应蛋白介导的细胞坏死的新机制(图15)<sup>[26]</sup>。该结果有望为提出新的病害防控策略提供新思路。田间生产实践表明,大部分抗稻瘟病基因推广应用几年

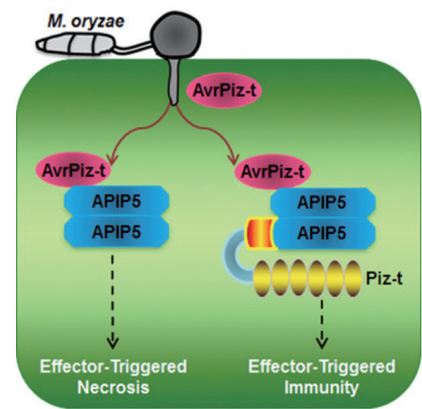


图15 稻-稻瘟菌互作过程机制

后其抗性易被克服,因此,通过不断发掘水稻资源中新的抗稻瘟病位点是持续控制稻瘟病危害的前提和基础。中国农业科学院植物保护研究所与俄亥俄州立大学、康奈尔大学、国际水稻所、浙江省农业科学院、湖南农业大学等单位合作,从国际水稻所6万份水稻资源中选取400多份具有丰富遗传多样性的水稻资源,连同来自世界各地的5个稻瘟菌小种为材料,绘制了一张覆盖水稻全基因组的抗性关联位点图谱,鉴定到97个抗性关联位点,其中包含82个新位点,并克隆了其中2个新的抗稻瘟病基因 *LABR\_61-1* 和 *LABR\_64-2* (图16)<sup>[27]</sup>。这些抗性位点和新基因为抗稻瘟病分子育种提供了图谱和基因资源,对控制稻瘟病的危害具有重要的理论和应用价值。变异是一切物种形成以及多样性演化的基础,其中有性繁殖是变异的主要来源之一。然而,大多数病原真菌具有比较严格的无性繁殖过程,以无性繁殖为主的病原真菌怎样快速变异是未知的命题,这恰好是病原菌容易克服寄主抗性的主要原因之一。研究人员发现了病原菌(以稻瘟病菌为例)和植物(以玉米为例)中几类活跃的转座子,对基因组的变异和多样性起重要作用,并以此为出发点,开发了一种基于高通量短序列鉴定活跃转座子的新方法(图17),并将此方法开发成一套软件系统:多态性转座子及其移动检测(PTEMD,在线获取网站为 [http://www.kanglab.cn/blast/PTEMD\\_V1.02.htm](http://www.kanglab.cn/blast/PTEMD_V1.02.htm))<sup>[28]</sup>。本方法将为病原菌、植物乃至

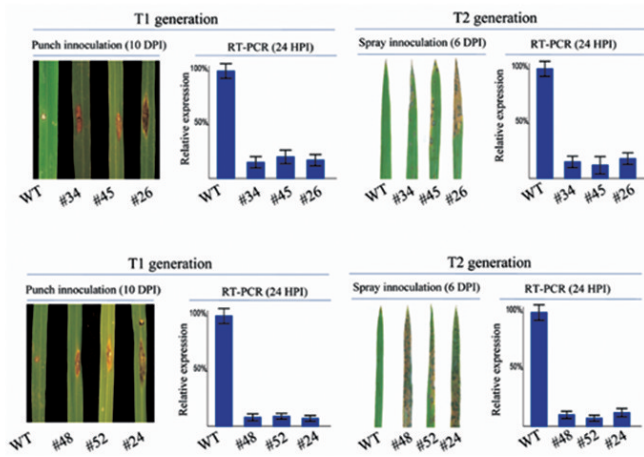


图 16 解析稻瘟病抗性遗传结构

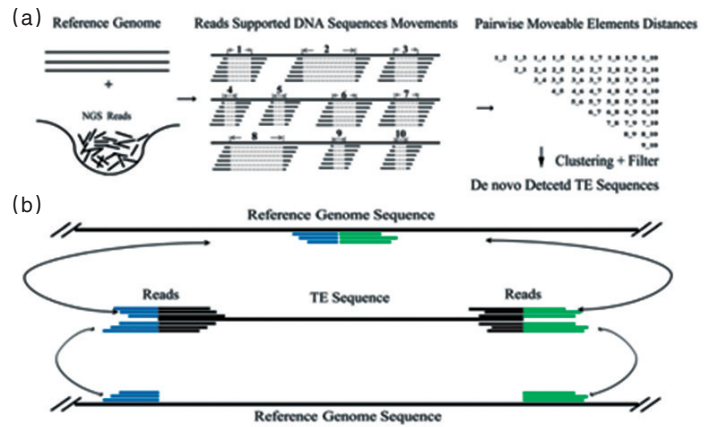


图 17 基于高通量短序列鉴定活跃转座子的新方法

动物基因组变异研究开辟一片新领域。

明确昆虫与病原微生物的协同进化机制有利于进一步增强对农业害虫的防治力度。中国农业科学院植物保护研究所吴孔明团队证实了棉铃虫对苏云金芽孢杆菌(Bt)毒素和阿维菌素存在负交互抗性现象,并阐述了深入解析棉铃虫/Bt毒素/阿维菌素的互作关系及其分子机理(图18)<sup>[29]</sup>。该研究为棉铃虫等靶标害虫对Bt作物的抗性治理提供了新思路。

科学家寄希望于通过了解双生病毒致病机理及植物抵御双生病毒侵染的机制来制定病毒控制的新策略。中国农业科学院植物保护研究所周雪平团队发现,NtRFP1蛋白通过与 $\beta$ C1互作并且介导 $\beta$ C1泛素化以及26S蛋白酶体对 $\beta$ C1的降解而减弱病毒对植物的危害(图19)<sup>[30]</sup>。该结果揭示了植物与双生病毒复杂的分子互作,可为该类病害防治策略提供新的思路和靶标。

#### 4 农业资源与农业区划

地表覆盖变化信息是全球变化研究的基础数据,研制快速、精准的地表覆盖变化检测方法一直是土地资源遥感领域的前沿研究方向之一。国内外很多学者研制了多源数据融合算法,用以生产服务于地表覆盖变化检测的高时空分辨率的时间序列NDVI数据。但这些算法受影像几何配准影响大,容易出现明显的“椒盐”现象。针对该问题,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所吴文斌团队提出了面向对象的时空植被指数分解模型(OB-STVIUM),基于陆地卫星(Land-

sat)和中分辨率成像光谱仪(MODIS)数据生成高时空分辨率植被指数(NDVI)时间序列数据,利用NDVI斜率差异进行变化检测,有效提高了地表覆盖变化信息提取的精度<sup>[31]</sup>。该方法和传统的数据融合模型相比,不依赖于陆地卫星数据的获取时间和输入数量,同

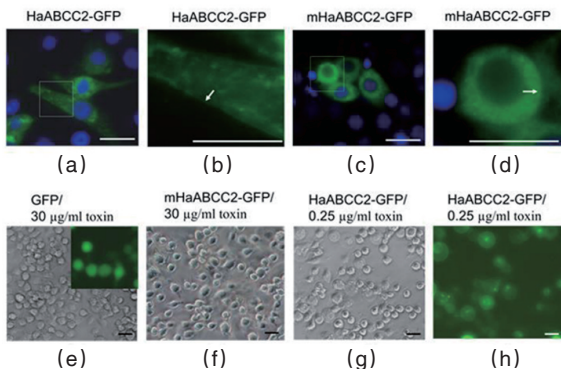


图 18 棉铃虫对Bt作物的抗性机制

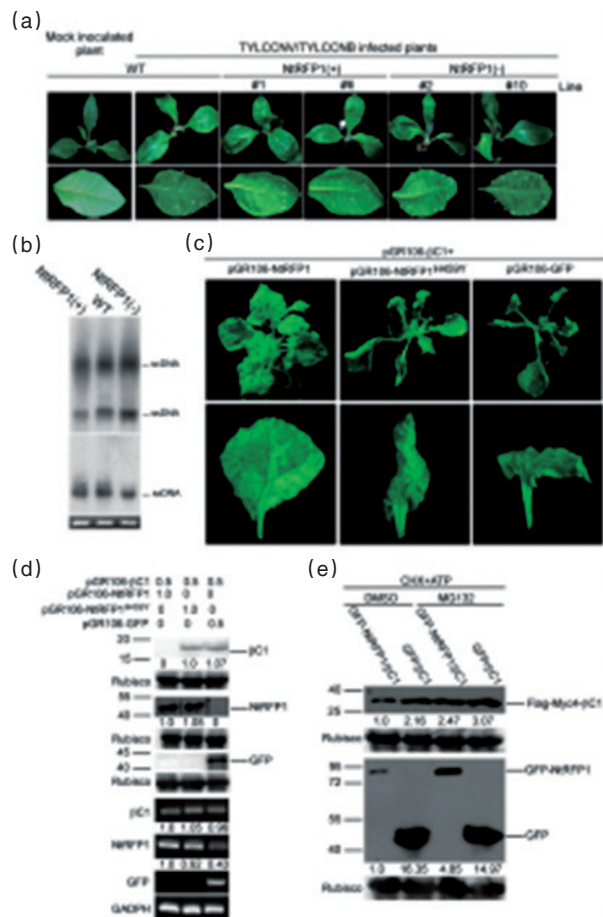


图 19 蛋白泛素化调控植物抗双生病毒侵染

时能够减低像素级信息融合过程中“椒盐”效应和几何配准误差的影响,更适用于变化检测的研究应用,提高地表覆盖变化信息提取的精准度。

为促使农作物生产向着智能化、精准化、集约化方向发展,大幅度提高劳动生产率和节水效率,从根本上解决农民浇水“最后一公里”问题,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研发了基于互联网的手机监控及远程控制技术,通过以太网及3G、4G技术与现代光伏技术、自动化喷灌节水灌溉技术、智能环境传感技术等为一体的技术集成与融合,构建了宽带和无线网络网络的交互、有电无电的交互使用的4种灌溉模式,分别是:有网有电模式(以太网+供电系统)、有网无电(以太网、光伏技术)、无网有电(移动网络、供电系统)、无网无电(移动网络、光伏技术),用户可通过手机APP实现节水喷灌技术的精准预约定时与智能化控制2种模式的远程控制<sup>[32]</sup>。该技术的成功实施对于贯彻落实国家互联网+战略,国家“十三五”规划纲要“五大理念”,起到积极的推动作用。

## 5 农业环境与可持续发展

由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所杨其长团队自主研发的“智能LED植物工厂”成果,亮相于正在举办的国家“十二五”科技创新成就展,受到党和国家领导人及社会各界的高度关注和广泛赞誉(图20)。该技术可以对植物工厂内的温度、湿度、光照、气流、二氧化碳浓度及营养液等环境要素进行实时自动监控,不用土、阳光,可实现任何时间、任何地点的植物智能化生产,甚至可以在太空、荒漠、戈壁、海岛、水面、摩天大楼等非可耕地上进行作物生产。与传统种植模式相比,智能LED植物工厂土地利用率高、操作省力、机械化程度强、产品安全无污染、营养价值大大提高,而且单位面积产量可达露地的几十倍甚至上百倍<sup>[33]</sup>。

用磁选分离的方法从土壤多相体系中移除净化非磁性重金属的研发,有望发展成为一种快速“移除”土壤重金



图20 党和国家领导人了解智能LED植物工厂蔬菜种植情况  
(图片来源:中国农业科学院)

属污染的净化修复方法。中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所的研究结果表明,一种新型磁性固体螯合剂粉体材料——FS@IDA,能够螯合捕集土壤镉(Cd)、锌(Zn)、铅(Pb)、铜(Cu)、镍(Ni)等重金属,将其转化为具有磁性的固体螯合物,其中,镉、铅重金属污染去除率分别为84.9%和72.2%,并且土壤多相体系中磁性固体螯合物FS@IDA-M的回收率可达98.7%<sup>[34]</sup>。

## 6 兽医

推进畜牧兽医科技进步,有效防控重大动物疫病,保障动物产品质量安全,保护养殖业健康发展,维护公共卫生安全,对促进农业农村经济又好又快发展和建设社会主义新农村具有重要意义,2016年该领域的研究取得了大批高水平成果。

### 6.1 猪

猪呼吸道传染病的广泛性、长期性、消耗性及引起的继发感染,所造成的直接和间接的经济损失十分巨大。中国农业科学院上海兽医研究所马志永团队研究发现,肿瘤抑制因子p53可以调控宿主的炎症反应及抗细菌感染相关因子,从而发挥抗单增李斯特菌感染的作用,阐明了p53通过转录调控宿主的先天性免疫反应发挥抗单增李斯特菌感染的作用机制<sup>[35]</sup>。该研究开辟了p53抗细菌感染研究新领域。

猪瘟的病原是猪瘟病毒,探究猪瘟病毒的复制机理,对于防治猪瘟至关重要。中国农业科学院哈尔滨兽医研究所仇华吉团队研究结果表明,丝裂原活化蛋白激酶2(MEK2)是一种新的调控猪瘟病毒复制的宿主分子,MEK2与猪瘟病毒E2蛋白相互作用,并通过抑制JAK-STAT信号通路而促进猪瘟病毒的复制<sup>[36]</sup>。此项研究的发现不仅有助于深入了解猪瘟病毒如何利用宿主分子完成自身复制周期,同时为猪瘟病毒分类所在的黄病毒科其他成员的病毒复制机制研究提供了参考。

猪流行性腹泻病毒是冠状病毒科的重要成员之一,自2010年以来,中国出现猪流行性腹泻病毒变异毒株,其致病性明显增强,并在国内猪群中迅速蔓延,给中国养猪业造成巨大经济损失。中国农业科学院哈尔滨兽医研究所冯力团队发现信号转导与转录激活子1(STAT1)的降解是由于猪流行性腹泻病毒感染诱导该蛋白泛素化——蛋白酶体的降解途径<sup>[37]</sup>。该结果阐明了猪流行性腹泻病毒感染抑制细胞干扰素信号通路的作用机制,为该病的药物研究提供了新靶点,为该病防控提供了新策略。

通常对发生腹泻的病猪需根据流行病学、临床症状和病变进行判定并作出诊断,且需与猪传染性胃肠炎病毒、轮状病毒和仔猪大肠杆菌病相区别,确

诊需要分离病毒或接种新生仔猪,在生产实际中很难普及。中国农业科学院特产研究所王凤雪团队提出利用交叉引物扩增(cross-priming amplification)方法检测动物病毒性传染病,该种检测方法快速、灵敏且摆脱了实验仪器和条件的束缚,可直接用于现场检测<sup>[38]</sup>。该结果为现场快速准确地诊断该病提供了很好的解决方法。

### 6.2 鸡、鸭

禽偏肺病毒在中国鸡群中感染率较高,给养禽业造成较大经济损失。尽管国际上多个团队尝试鉴定该病毒的细胞受体,但均未成功。日前,中国研究人员首次鉴定出B型禽偏肺病毒的细胞受体整合素 $\alpha\beta 1$ <sup>[39]</sup>,该成果为阐明病毒入侵机制奠定了基础,也为禽偏肺病毒药物靶点的设计和疫苗的开发提供了新思路。

鸭疫里默氏杆菌在世界各地广泛分布,是引起养鸭业重大经济损失的细菌传染病之一。中国农业科学院上海兽医研究所于圣青团队发现鸭疫里默氏杆菌AS87\_03730基因是一个重要的毒力相关调控因子,可调控细胞转录、细胞膜合成、氨基酸转运及代谢等相关基因的表达<sup>[40]</sup>。该研究首次揭示了鸭疫里默氏杆菌的毒力调控因子,将为鸭疫里默氏杆菌病的预防和控制提供基础。

### 6.3 羊

如何提高和改善羊肉品质培育优良新品种以满足市场需要,成为肉羊遗传育种研究领域面临的一个重要任务。中国农业科学院北京畜牧兽医研究所苗向阳团队采用高通量测序及生物信息学等方法,发现了调控羊脂肪沉积的关键功能基因、miRNAs及其靶基因,揭示了羊脂肪沉积的脂质代谢调控通路<sup>[41]</sup>。该结果为羊脂肪沉积机理研究及利用分子育种改善肉质提供了新的思路和方法,对肉羊种质资源利用具有重要的理论和实际意义。

### 6.4 犬

犬细小病毒(CPV)新亚型的出现,对犬的致病性增强,感染宿主范围扩大,免疫犬时常有发病的报道,现有疫

苗(CPV2/2b型)是否能保护流行毒株的攻击已成为一个科学问题。中国农业科学院特产研究所程世鹏团队首次分离鉴定了CPV-2c型病毒,该毒株为结构蛋白VP2上第5位氨基酸为甘氨酸突变的变异毒株<sup>[42]</sup>,该结果为研制新亚型疫苗及亚型间的交叉保护作用研究奠定了基础。

### 6.5 其他

牛带绦虫和亚洲带绦虫可引起人类带绦虫病及家畜囊尾蚴病,严重影响公共卫生和食品安全。中国农业科学院兰州兽医研究所才学鹏团队与北京基因组研究所、美国Texas A&M大学及美国CDC等单位合作利用二代测序技术对2种绦虫的基因组进行了测序,分别得到了约169和168 Mb基因组草图,成功解析了牛带绦虫和亚洲带绦虫基因组序列<sup>[43]</sup>,为牛带绦虫、亚洲带绦虫和猪带绦虫的鉴别诊断、疫苗及药物研制等提供了数据平台。

深入揭示血吸虫性成熟和产卵的分子机制对开拓血吸虫病的防控新途径具有重要意义。中国农业科学院上海兽医研究所程国锋团队和美国科罗拉多大学Richard E. Davis团队合作研究发现,微小核糖核酸(miRNA)在调控日本血吸虫卵巢发育中发挥重要作用,抑制雌虫2个高表达微小RNAs可导致

血吸虫雌虫卵巢发育异常(图21)<sup>[44]</sup>。该结果解开了日本血吸虫生殖发育的新机制。

脊髓损伤是中枢神经系统的严重创伤,是目前公认的疑难病之一。干细胞是一类具有自我更新能力和多向分化潜能的细胞,它可以不断地增殖更新以维持自己的数目,同时具有可以分化为成熟功能细胞的特性。中国农业科学院北京畜牧兽医研究所动物遗传资源保存与利用创新团队发现,移植的细胞可以在脊髓内迁移、分化为神经元并分泌神经营养物质,促进神经组织的修复,改善神经功能<sup>[45]</sup>,该研究成果可作为治疗脊髓损伤的新手段,具有重要的临床意义和良好的应用前景。

研制和利用佐剂来增强疫苗的保护水平是提高动物疫苗使用效果的一个重要方面。中国农业科学院上海兽医研究所与上海交通大学纳米生物医学中心合作研究发现,氧化石墨烯不仅是一种新型的佐剂材料,而且无明显的毒副作用,制备简便、成本低廉,与OVA混合后注射小鼠能使其产生针对OVA的高水平抗体并且持续时间较长,而且流式细胞术(FACS)检测细胞免疫水平也有显著升高(图22)<sup>[46]</sup>,该结果促使这种新型的碳纳米材料有望在佐剂领域得到广泛的应用。

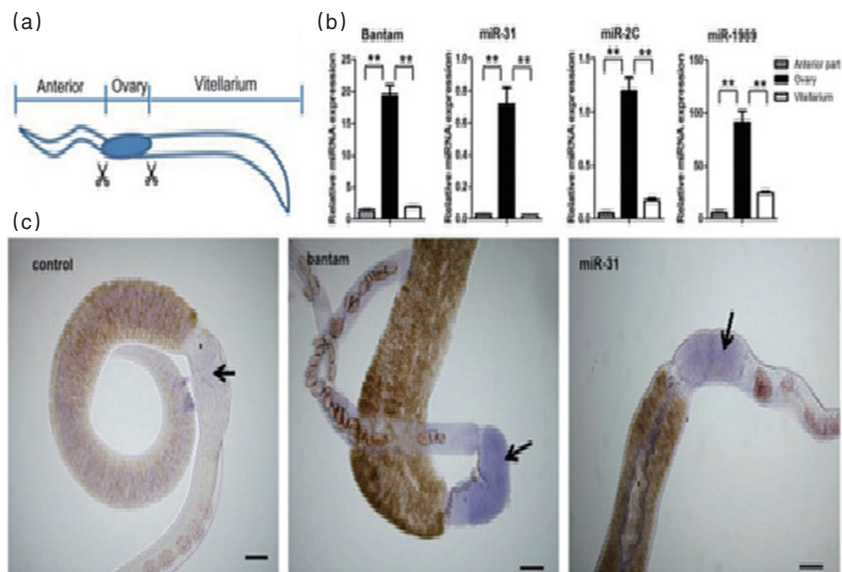


图21 微小核糖核酸抑制雌虫2个高表达微小RNAs导致血吸虫雌虫卵巢发育异常

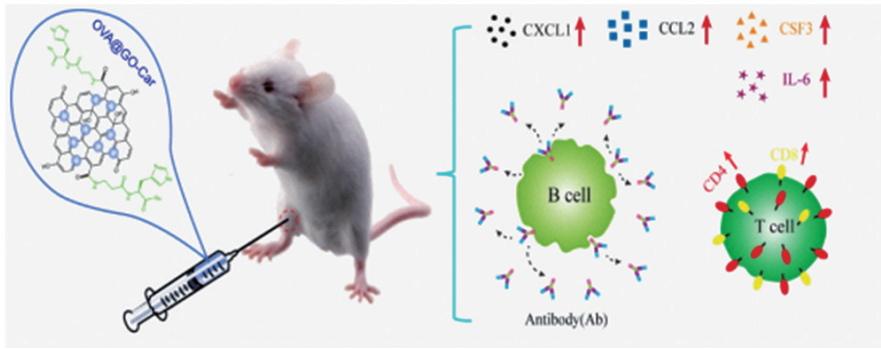


图 22 氧化石墨烯与模式抗原刺激小鼠的天然免疫应答

### 7 生物技术

作物根际联合固氮菌在长期进化中形成了一套复杂而精细的基因表达网络调控系统,以适应复杂而多变的外界环境。针对联合固氮菌感应环境信号的分子机制及非编码 RNA 是否参与固氮调节的问题,中国农业科学院生物技术研究所微生物功能基因组团队发现,分离自中国南方水稻根际土壤的施氏假单胞菌 A1501 基因组携带 1 个固氮基因岛,通过基因岛转移获得固氮能力,并通过招募 NfiS 精细调节固氮使其酶活最佳化,而非编码 RNA 在最佳固氮调节中发挥了重要作用(图 23)<sup>[47]</sup>。该结果为实现非豆科农作物节肥稳产增效奠定了重要理论基础。

近年来,生长素在植物细胞内的运输过程及调控机制仍知之甚少。中国农业科学院生物技术研究所王磊团队发现一个未知功能的新基因 *OsCOLE1* (*OsCOV-LIKE 1*),其定位于细胞液泡膜上,细胞内的互作蛋白质 *OsCLIP* 是水稻中一个全新的定位于液泡膜的

生长素转运体,*OsCOLE1* 通过与 *OsCLIP* 相互作用,直接调控 *OsCLIP* 对生长素的运输能力<sup>[48]</sup>。该研究发现了一个新的液泡膜生长素转运体及其调控蛋白,首次在分子水平上揭示了存在于植物细胞液泡上的一种全新的生长素运输调控模式,进一步拓展了人们对于生长素运输过程的已有认知。

双向启动子是同时启动其两端的结构基因转录的一类特殊启动子,在多基因表达中具有独有的优势,同样数量的启动子可以驱动更多的基因表达,避免多基因串联的载体及转录本过大或重复利用同一个启动子带来的基因沉默、基因表达不同步等问题。中国农业科学院生物技术研究所林敏和陈茹梅团队证实了单向启动子 *PZmDef1/PZmDef2* 是胚特异性启动子,而 *PZmBD1* 则是一个胚特异不对称双向启动子,并提出了双向启动转录表达调控的模型<sup>[49]</sup>。

蛋白质的磷酸化和去磷酸化是影响蛋白活性的重要方式。*FIERY2* 是一个去磷酸化酶,它的功能是使目标蛋白

去磷酸化,以维持蛋白应有的磷酸化水平。中国农业科学院生物技术研究所植物分子生物学研究室与沙特国王科技大学科研人员合作发现,*FIERY2* 能和 NMD 的核心蛋白组分 *eIF4AIII* 和 *UPF3* 相互作用,并控制 *eIF4AIII* 的去磷酸化,进而决定其在细胞内的定位,正确的核内定位是 *eIF4AIII* 行使功能所必须的<sup>[50]</sup>。该研究工作系统地揭示了 *FIERY2* 通过控制 *eIF4AIII* 磷酸化水平调控植物 mRNA 质量控制体系的作用机制。

真菌掘氏梅里菌是一种专性食线虫真菌,可以寄生并杀死多种农作物病害线虫,如番茄根结线虫等,具有极强的宿主专一性和依赖性,在感染线虫时还能合成具有杀线虫活性的次级代谢产物梅里霉素,在作物寄生线虫的绿色防控中具有广泛的应用前景。中国农业科学院生物技术研究所微生物功能基因组创新团队发现,掘氏梅里菌基因组在进化过程中不断简化精炼,丢失了许多营腐生生活或昆虫寄生相关的蛋白,保留甚至富集了降解宿主生物质的水解酶、运转宿主营养的转运蛋白、与杀虫相关的次级代谢产物、转录调控因子等(图 24)<sup>[51]</sup>,该结果有助于利用异源生物合成系统,高效生物合成梅里霉素,用于植物寄生线虫的绿色防控。

聚酮化合物是天然产物中的一大家族,化学结构和生物活性多样,在农业和临床上具有重要价值,如杀虫剂阿维菌素和降血脂药洛伐他汀等。中国农业科学院生物技术研究所徐玉泉团

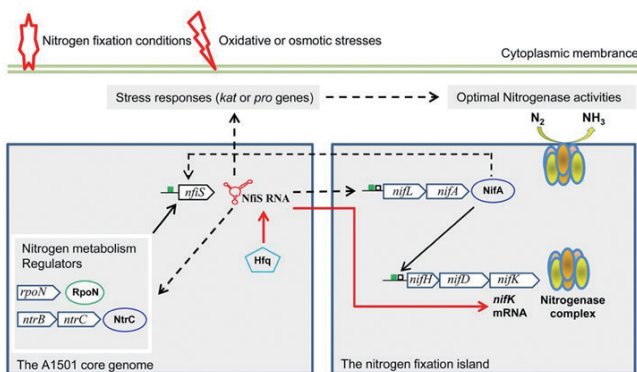


图 23 固氮酶基因 *nifK* 的 mRNA 稳定性或翻译活性受到 NfiS 高效而精细的调控

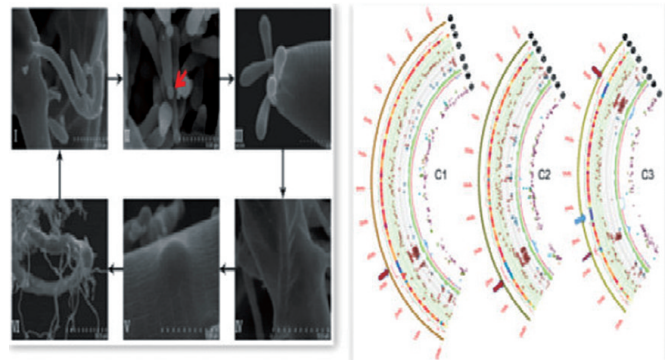


图 24 食线虫真菌和宿主间相互作用

队拓宽真菌聚酮化合物组合生物合成的范围,通过苯二酚内酯合成模块与具有抗真菌生物活性的嗜氮酮合成模块的组合,生物合成了新型聚酮化合物<sup>[52]</sup>。该成果不仅为揭示天然聚酮类化合物的程序化生物合成机制奠定了重要理论基础,而且也为大规模实现新型真菌聚酮类抗生素的工程化生物合成提供了创新方法。

茉莉酸是植物体内一种参与调控次生代谢生物合成的重要激素。中国农业科学院生物技术研究所作物分子育种创新团队和荷兰莱顿大学合作发现,受茉莉酸调控的转录因子主要包括 AP2/ERF、bHLH、MYB 和 WRKY 类等,这些转录因子通常结合在关键酶基因的 GCC-box、G-box、MBS 和 W-box 等顺式作用元件来调控基因的表达,也通过与其他蛋白质的交互、自身的磷酸化以及泛素化等修饰来调节自身的活性进一步影响次生代谢物质的生物合成<sup>[53]</sup>。该结果对棉花和牧草的次生代谢物质生物合成研究具有指导意义。

## 8 农业机械化

如何实现农作物秸秆经济有效资源化利用,而不焚烧污染环境,在当下中国是个备受关注又尚未得到有效破解的大事、要事和难事。由中国农业科学院南京农业机械化研究所胡志超团队完成的“旱田全量秸秆覆盖地免耕区播种关键技术及装备”,针对传统免耕播种装备在旱田全量秸秆覆盖工况下作业时存在的顺畅性差、架种和晾种严重等问题,提出了全量秸秆覆盖区免耕播种思路,发明了全量秸秆覆盖

“洁区播种”、碎秸分流与均匀覆盖、压滑组配防堵滞等关键技术,创制了全量秸秆覆盖免耕洁区播种技术装备,为秸秆禁烧、实现就地还田肥料化利用提供了有力的技术与装备支撑(图 25)<sup>[54]</sup>。

随着有机肥、厩肥在大田、大棚及果园施用量的增加,同时伴随着劳动力缺乏、环境污染等问题的加剧,有机类固体肥料的机械化施用机成为生产急需。由中国农业科学院南京农业机械化研究所生物质转化利用装备创新团队最新研发的中国首台园艺固肥施用、残秧处理多功能机,针对大棚固肥撒施要求,采用由液压马达驱动的后置式双圆盘抛撒方式,作业幅宽 4~6 m 内肥料抛撒均匀;针对果园固肥沟施要求,采用侧置式液压升降犁开沟、横向导流送肥并辅以圆盘覆土方式,实现肥料埋土深施;针对蔬菜残秧、枝条等园艺废弃物处置要求,采用组配式盘刀切碎、强制抛送方式,可在棚内或林间把残秧等切碎、集箱并快速转运,实现了设施大棚固肥均匀撒施、果园固肥沟施覆土、园艺残秧切碎集运 3 种关键技术突破,有效提高了蔬菜大棚及果园有机肥、厩肥的施用效率和质量,达到了国内领先水平(图 26)<sup>[55]</sup>。

国内大型气力式智能化水稻直播机技术仍然空白。针对该问题,中国农业科学院南京农业机械化研究所种植机械化团队充分利用已有技术沉淀,成功创制出国内首台 33 行大型智能化气力集排式水稻直播机——2BDZQ-33800 型宽幅折叠式水稻直播机。该装备采用折叠式机架,作业幅宽 8 m,作业速度可达 10 km/h,作业效率可达

75~100 亩/h,播种作业仅由机手一人即可完成,可适应大型农场及其他规模化种植主体高效作业要求(图 27)<sup>[56]</sup>。

西芹种植完全依靠人工作业,近些年随着劳动力向二、三产业转移,西芹种植面临用工难、用工贵的问题,西芹机械化种植迫在眉睫。中国农业科学院南京农业机械化研究所果蔬茶创新团队采用气压打孔+旋转划孔复合打孔技术、气压辅助播种技术、主动排沙技术,集成机、电、气控制技术,把西芹种植各环节整合为西芹复式种植一体机,该机集旋耕整形覆膜、打孔、穴播、盖沙 5 个关键技术环节,其中,气压打孔+旋转划孔复合打孔技术以及机电气集成控制技术分别解决打孔深度需控制在 8 mm 以内和打孔、播种、盖沙精准对位的技术难题(图 28)<sup>[57]</sup>,首次实现了西芹旋耕、覆膜、打孔、播种、盖沙同步作业,突破了西芹膜上种植难题。

饲用苕麻的发展极大地受制于机械化收获水平,北方大型的茎秆收获机械不适应南方作业,特别是苕麻韧皮富含纤维,对收获机械产生严重的缠绕现象。针对该问题,由中国农业科学院麻类研究所、德人牧业科技有限公司与湖南益阳农用收割机厂共同研制的 4LZ-130 型饲用苕麻收割机,通过割台与行走分开的装置,引入液压升降系统,可随意调节饲用苕麻割茬高度;采用履带式行走系统,解决了南方雨水多,土壤含水量大影响机械作业的问题;发明一种旋转切割防草缠绕装置,有效地克服了苕麻韧皮纤维对机械收获时的缠绕现象(图 29)<sup>[58]</sup>。



图 25 旱田全量秸秆覆盖地免耕区播种机及其田间作业



图 26 园艺固肥施用、残秧处理多功能机作业情况



图27 2BDZQ-33800型宽幅折叠式水稻直播机



图28 西芹复式种植一体机田间作业



图29 4LZ-130型饲用苕麻收割机田间作业

## 9 农业质量标准与检测

随着人们日常生活对食品质量要求的提高,更准确、快速测定食品中重金属元素的研究在食品检测研究中所占的比重越来越大。室温条件下介质阻挡放电(DBD)是常温常压放电技术的一种,因其简单、低廉、易控制、能耗少、用途广而成为放电技术研究的热点,已广泛用于质谱离子源、发射光谱激发源、光谱原子化器以及化学蒸气发生装置等关键部件,为分析仪器的小型化、便携化、现场化甚至实时在线分析提供了技术储备。中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所农产品质量安全风险监测与风险评估技术研究创新团队利用同轴型双介质石英DBD装置与氢化物发生器(HG)联用作为原子荧光光谱仪(AFS)的进样部件,构建了氢化物发生介质阻挡放电原子荧光分析系统(HG-DBD-AFS);在氩

氧混合气条件下,可以实现砷元素的有效捕获;在去除水汽后氩氢混合气条件下,可以实现捕获砷元素的完全释放(图30);通过上述捕获/释放过程,能够有效提高氢化物发生原子荧光仪器系统(HG-AFS)的分析灵敏度,检出限可达1.0 ng/L,对砷元素实现了8倍以上的富集系数,方法回收率在98%~103%;同时,该套DBD装置经简单改装还可用于原子吸收、原子发射等光谱

系统<sup>[9]</sup>。该研究成果在国际上首次发现了室温条件下介质阻挡放电(DBD)过程可以有效捕获再释放砷元素的现象,不仅为提高原子光谱的分析灵敏度提供了解决方案,同时其常温常压的放电特性还为富集和回收废气中有害重金属元素提供了新的思路,在分析仪器、食品安全和环境保护领域具有广阔的应用前景。

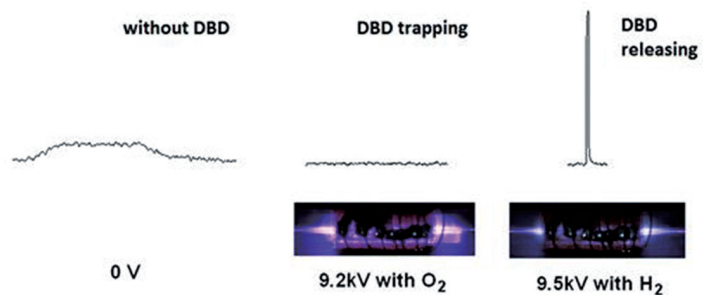


图30 室温条件下介质阻挡放电(DBD)过程有效捕获再释放砷元素

## 参考文献 (References)

- [1] 作科所成功实现植物基因高效率单碱基定点替换[EB/OL]. 2016-12-15. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_12\\_15/17968\\_18133\\_2016\\_12\\_15\\_114614.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_12_15/17968_18133_2016_12_15_114614.html).
- [2] 作科所在植物基因定点编辑技术研究上取得新进展[EB/OL]. 2016-04-07. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_04\\_07/17968\\_18133\\_2016\\_04\\_07\\_109317.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_04_07/17968_18133_2016_04_07_109317.html).
- [3] 水稻所大幅拓展水稻基因组编辑范围[EB/OL]. 2016-03-22. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/268716.shtml>.
- [4] 水稻所成功利用CRISPR-Cpf1系统进行水稻基因组编辑[EB/OL]. 2016-12-14. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/277667.shtml>.
- [5] 水稻所定点编辑水稻产量性状基因取得新进展[EB/OL]. 2016-09-23. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/275281.shtml>.
- [6] 作科所发现UBL1基因调控玉米籽粒发育的分子机制[EB/OL]. 2016-12-14. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/277669.shtml>.
- [7] 我科学家在稻米蛋白质分子机制研究中获新进展[EB/OL]. 2016-11-09. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_11\\_09/17968\\_18133\\_2016\\_11\\_09\\_113904.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_11_09/17968_18133_2016_11_09_113904.html).
- [8] 水稻所在水稻产量研究上取得新进展[EB/OL]. 2016-03-23. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/268793.shtml>.
- [9] 作科所成功解析小麦面粉颜色遗传调控分子机制[EB/OL]. 2016-11-30. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/277269.shtml>.
- [10] 水稻所水稻抗衰老调控机理研究取得新进展[EB/OL]. 2016-04-21. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kjz/269760.shtml>.
- [11] 作科所发现赤霉素参与水稻穗型调控新机制[EB/OL]. 2016-11-03. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_11\\_03/17968\\_18133\\_2016\\_11\\_03\\_113734.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_11_03/17968_18133_2016_11_03_113734.html).
- [12] 玉米分子育种创新团队提出混合样品分析新策略[EB/OL]. 2016-09-21. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_09\\_21/17968\\_18133\\_2016\\_09\\_21\\_112788.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_09_21/17968_18133_2016_09_21_112788.html).

- [13] 玉米分子育种创新团队倡导环境型鉴定新概念[EB/OL]. 2016-03-21. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_03\\_21/17968\\_18133\\_2016\\_03\\_21\\_108942.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_03_21/17968_18133_2016_03_21_108942.html).
- [14] 作科所举办小麦绿色增产增效技术集成模式现场观摩与产业竞争力提升座谈会[EB/OL]. 2016-05-26. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_05\\_26/17968\\_18135\\_2016\\_05\\_26\\_110305.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_05_26/17968_18135_2016_05_26_110305.html).
- [15] 作科所举办大豆绿色增产增效技术集成模式示范现场观摩活动[EB/OL]. 2016-09-21. [http://icscaas.com.cn/Html/2016\\_09\\_21/17968\\_18133\\_2016\\_09\\_21\\_112794.html](http://icscaas.com.cn/Html/2016_09_21/17968_18133_2016_09_21_112794.html).
- [16] 作科所召开小麦立体匀播现场观摩会[EB/OL]. 2016-08-16. <http://www.caas.net.cn/ysxw/xzhd/273994.shtml>.
- [17] 大数据驱动蔬菜品质研究再结硕果[EB/OL]. 2016-11-29. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/277215.shtml>.
- [18] 蔬菜所确定白菜和甘蓝类蔬菜叶球形成和根(茎)膨大相关基因[EB/OL]. 2016-08-15. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/273955.shtml>.
- [19] 我国科学家解析芥菜基因组结构和起源[EB/OL]. 2016-09-22. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/275177.shtml>.
- [20] 蔬菜所发现一种脂肪抗生素生物合成途径[EB/OL]. 2016-07-26. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/273406.shtml>.
- [21] 蔬菜所小菜蛾蛋白质基因组研究获得突破[EB/OL]. 2016-03-24. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268845.shtml>.
- [22] 郑州果树所桃全基因组关联分析取得重要进展[EB/OL]. 2016-11-14. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276765.shtml>.
- [23] 植保所揭示蚜虫感受报警信息素新机制[EB/OL]. 2016-12-09. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/277512.shtml>.
- [24] 植保所揭示外来生物入侵加剧物种竞争取代[EB/OL]. 2016-11-16. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276838.shtml>.
- [25] 植保所直播田杂草综合防控技术集成取得明显效果[EB/OL]. 2016-11-16. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276831.shtml>.
- [26] 植保所揭示水稻-稻瘟菌互作过程新机制[EB/OL]. 2016-09-19. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/275075.shtml>.
- [27] 植保所解析稻瘟病抗性遗传结构[EB/OL]. 2016-05-12. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/270455.shtml>.
- [28] 植保所基因组变异研究取得突破进展[EB/OL]. 2016-05-12. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/270452.shtml>.
- [29] 植保所研究发现棉铃虫对Bt作物的抗性新机制[EB/OL]. 2016-02-16. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/267392.shtml>.
- [30] 植保所揭示蛋白泛素化调控植物抗双生病毒侵染新机制[EB/OL]. 2016-03-31. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/269141.shtml>.
- [31] 资划所提出地表覆盖变化检测新办法[EB/OL]. 2016-11-21. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/277015.shtml>.
- [32] 资划所智能化远程控制节水灌溉技术集成方面取得新进展[EB/OL]. 2016-10-31. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276608.shtml>.
- [33] 农作方式的颠覆技术——智能LED植物工厂亮相全国“十二五”科技创新成就展[EB/OL]. 2016-06-06. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/271443.shtml>.
- [34] 环发所研发出土壤重金属污染的快速净化方法[EB/OL]. 2016-03-04. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/267946.shtml>.
- [35] 上海兽医所发现p53基因具有抵抗细菌感染作用[EB/OL]. 2016-10-31. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276323.shtml>.
- [36] 哈尔滨兽医所发现调控猪瘟病毒复制的新宿主因子[EB/OL]. 2016-10-08. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/275425.shtml>.
- [37] 哈尔滨兽医所揭示猪流行性腹泻感染致病机制[EB/OL]. 2016-07-19. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/273102.shtml>.
- [38] 特产所在动物病毒快速诊断方法研究中取得突破进展[EB/OL]. 2016-05-13. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/270511.shtml>.
- [39] 哈尔滨兽医所在国际上首次发现B型禽偏肺病毒细胞受体[EB/OL]. 2016-07-18. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/273037.shtml>.
- [40] 上海兽医所发现鸭疫里默氏杆菌重要毒力调控因子[EB/OL]. 2016-03-22. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268737.shtml>.
- [41] 牧医所专家发现羊脂肪组织调控基因[EB/OL]. 2016-03-04. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/267984.shtml>.
- [42] 特产所在国内首次分离出犬细小病毒新型病毒[EB/OL]. 2016-05-09. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/270382.shtml>.
- [43] 兰州兽医所寄生虫病创新团队成功解析牛带绦虫和亚洲带绦虫基因组序列[EB/OL]. 2016-09-30. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/275347.shtml>.
- [44] 上海兽医所发现日本血吸虫生殖发育的新机制[EB/OL]. 2016-03-07. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268007.shtml>.
- [45] 牧医所利用干细胞治疗脊髓损伤取得突破进展[EB/OL]. 2016-02-26. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/267662.shtml>.
- [46] 上海兽医所揭示纳米佐剂免疫增强效果新机制[EB/OL]. 2016-02-24. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/267530.shtml>.
- [47] 生物所揭示新型非编码RNA的固氮调控和协同进化机制[EB/OL]. 2016-07-15. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/272949.shtml>.
- [48] 生物所在植物细胞内生长素运输调控机制研究上取得新进展[EB/OL]. 2016-06-15. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/271737.shtml>.
- [49] 生物所玉米双向启动子研究取得新进展[EB/OL]. 2016-06-14. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/271695.shtml>.
- [50] 生物所在植物信使RNA监控系统研究中取得新进展[EB/OL]. 2016-03-22. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268692.shtml>.
- [51] 生物所在食线虫真菌组学研究领域取得新进展[EB/OL]. 2016-03-17. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268575.shtml>.
- [52] 生物所在真菌聚酮化合物组合生物合成领域研究取得新进展[EB/OL]. 2016-03-17. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268573.shtml>.
- [53] 生物所阐述茉莉酸调控植物次生代谢机理[EB/OL]. 2016-03-07. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/268016.shtml>.
- [54] 农机化所免耕播种技术处于国际领先水平[EB/OL]. 2016-11-25. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/277162.shtml>.
- [55] 国内首台园艺固肥施用残秧处理多功能机面世[EB/OL]. 2016-10-12. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/272351.shtml>.
- [56] 农机化所成功研制出33行大型智能化气力集排式水稻直播机[EB/OL]. 2016-06-30. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/272351.shtml>.
- [57] 农机化所成功研制西芹复式种植一体机[EB/OL]. 2016-04-11. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/269438.shtml>.
- [58] 麻类所饲用苕麻收割机研发获得重要突破[EB/OL]. 2016-10-25. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/276130.shtml>.
- [59] 质标所在常温介质阻挡放电与光谱联用技术方面取得突破[EB/OL]. 2016-05-06. <http://www.caas.net.cn/ysxw/kyjz/270298.shtml>.

## Looking back 2016 significant events in agricultural sciences

TAO Zhiqiang, CHANG Xuhong, WANG Demei, YANG Yushuang, ZHAO Guangcai

Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture; Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract** The year of 2016 witnessed the advance of innovation capability of world agricultural science and technology and the efficiency of major scientific researches. A number of original and high level researches produced outstanding achievements in many fields. To track the development of agricultural sciences and technology in 2016, this paper reviews some important advances in crop sciences, horticulture science, plant protection, agricultural resources and agricultural regionalization, environment and sustainable development of agriculture, veterinary medicine, biotechnology, agricultural mechanization, and agricultural quality standards and testing.

**Keywords** frontier of agricultural sciences; hot spots of sciences; research progress

(责任编辑 王媛媛)