

秦晓婧,郑怀国,张 辉,等. 中美作物种业研发布局对比研究与启示[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):10-15.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.21.002

# 中美作物种业研发布局对比研究与启示

秦晓婧,郑怀国,张 辉,张晓静

(北京市农林科学院数据科学与农业经济研究所,北京 100097)

**摘要:**种业是农业的“芯片”,是国家粮食安全的命脉。加强种业科技创新,筑牢国家安全屏障,已成为当前最为紧迫的问题。美国在植物育种领域处于世界领先水平,分析美国植物育种研发布局可为中国的植物育种科技战略和研发计划制订提供参考。本文分析了美国最新一轮的“植物遗传资源、基因组学和遗传改良行动计划”和中国作物种业相关政策规划,并从遗传资源收集保存及信息管理、优良性状发现及工具方法创新、优良品种培育、现代数字育种技术、基础研究 5 个方面对中美作物种业研发布局进行对比研究。研究发现,中美植物育种领域研发布局高度吻合,在品种选育方向上侧重点有所不同,在基础研究布局方面存在明显差异,找出了中国作物种业研发布局的空白点和差距,并从制定出台我国植物育种领域连续的、更具针对性和可操作性的专项研发计划,加强生物技术育种和信息技术育种核心技术研发布局,重视微生物种质资源保护利用和加强微生物-植物-环境互作基础研究等方面提出了对策建议,以期为我国作物种业研发布局提供参考。

**关键词:**作物种业;植物育种;研究布局;美国;中国

**中图分类号:**F323.3;F326.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)21-0010-06

种子是农业的“芯片”,是国家粮食安全的命脉,加强种业科技创新,抢占生物技术育种制高点,缩小与美国等发达国家的差距,成为当今最为紧迫的问题。美国是全球最发达的农业强国,其农业研究是政府 R&D 长期投资的重点领域之一。美国农业部农业研究局(ARS)每 5 年制订 1 个未来发展计划(国家 301 计划)<sup>[1-2]</sup>，“植物遗传资源、基因组学和遗传改良行动计划”是国家 301 计划作物生产与保护目标领域下的一个专项,其目的是利用植物的

遗传潜力来改变美国农业,使美国成为这一领域的全球领导者<sup>[2]</sup>,反映了美国在该领域国家层面的战略部署。通过对国家 301 计划文本和项目数据的文本挖掘,可分析出美国在作物种业领域的研发布局,对我国对标发达国家、前瞻性制定我国的植物育种科技战略和研发计划具有重要的参考意义。

## 1 美国作物种业研发布局分析

### 1.1 重点研发方向

农作物是美国农业和粮食安全的基础。提高作物产量、产品质量和生产效率是保障国家农业经济和粮食供应的必要条件。国家 301 计划通过持续的作物种质资源的挖掘和优化,提供具有更优越潜力的新型作物来满足作物生产力提升过程中的关键需求。自 2012 年至今 ARS 已发布 3 个国家 301 计划<sup>[3-5]</sup>,分别是 2013—2017、2018—2022、2023—2027。最新发布的 2023—2027 行动计划,延续了前

收稿日期:2022-04-07

基金项目:北京市农林科学院创新能力建设专项(编号:KJCX20200202、KJCX20200203);北京市农林科学院青年科研基金(编号:QNJJ201918)。

作者简介:秦晓婧(1982—),女,山西长治人,硕士,助理研究员,主要从事农业知识管理与情报研究。E-mail:qinxj@agri.ac.cn。

通信作者:郑怀国,研究馆员,主要从事农业知识管理与情报研究。E-mail:zhenghg@agri.ac.cn。

究[J]. 中国法学,2007(1):67-77.

[19]王 宇,沈文星. 知识产权保护对作物转基因技术创新模式的影响及政策建议[J]. 生物学杂志,2019,36(3):96-99.

[20]刘 辉. 农业技术创新的产权问题研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.

[21]韩敬花,何 平,苏胜娣. 浅析植物新品种保护在农业科研单位科技创新中的作用[J]. 农业科技管理,2006,25(5):41-43.

[22]Baron R M, Kenny D A. The moderator - mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations [J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.

[23]展进涛,黄 武,陈 超. 植物新品种保护制度对育种投资结构的影响分析[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2006,6(3):49-54.

几期的主要内容,重点研发集中在以下 4 个方面。

**1.1.1 作物遗传改良** 在性状发现、分析和优良育种方法研发方面,通过对植物基因组测序和标注,以及对影响优异性状的基因定位和功能描述,了解育种种群、地方品种、作物野生近缘种和其他来源群体中广泛存在的表型变异的遗传基础;通过新的遗传基因库的补充,得到多样性的试验种群,并采用高通量基因分型和高效定量表型分型技术进行功能性遗传分析;开发和应用诱变技术、生物技术和基因组编辑技术,产生新的遗传变异;组装高分辨率、基于序列的基因组图谱,以利用从模式物种获得遗传调控路径的知识,并确定能够连锁所需等位基因群体的遗传标记。由于性状测定常常成为遗传分析和育种进程的主要瓶颈,因此需要创新高通量、量化的表型分析方法。通过自动化、增加吞吐量、行化或使用新的传感器及平台,提高性状分析的效率、精确度和成本效益;开发和应用机器学习模型及工具管理和提取有用的信息,并将来自大群体的表型、遗传和其他基因水平的数据结合在一起,预测未经测试的遗传资源和育种种群的表现。

在开发具有优良性状的新作物、新品种和种质方面,培育具有优良特性和遗传多样性的种质、育种系和品种,生产出产量更高、更稳、且具有高附加值的作物,并在多变的环境和农业生产体系中稳定生产。新品种需要对多种病害和胁迫表现出更持久的抗性或耐受性,更有效地利用水和肥料,能最大限度地提高生产效率和质量;新品种的种子或其他繁殖体必须在商业生产系统下生产出具有足够活力且性状统一的下一代植株;培育能够满足美国生产者和消费者对品质、营养、储存期以及减少生产和加工所需的能源的要求;培育满足包括温室和隧道系统、有机系统、小农场、家庭花园和城市景观等新生产系统和新用途需要的具有新特性的作物;培育作为生产生物能源原料的非粮食作物,提高生物基产品作物的产量和质量。

**1.1.2 植物和微生物遗传资源及其信息管理** 在植物遗传资源与信息管理方面,加强 NPGS (National Plant Germplasm System, 国家植物种质资源系统)资源收集的管理和应用,以确保高效、长期和安全地保存植物遗传资源。开发更高效、更有效的遗传资源再生、记录和信息管理方法和实践;确定和填补遗传资源收集方面的差距,尽可能在保护区内加以保护;进行植物遗传资源基因型特征和关

键表型评估,并将结果数据纳入信息管理系统,向客户提供高质量遗传资源和相关信息;通过伙伴关系加强植物遗传资源、信息管理和培训能力。

在微生物遗传资源与信息管理方面,保护微生物遗传资源,包括活体和保存收集库;开发创新、高效、有效的工具和方法,以保护、分类和描述微生物遗传资源;确定微生物遗传资源的新来源,并在可能的情况下,在基因库或收集库中获得和保存;开展关键微生物库基因型特征和表型评估;在集成的公共数据管理系统中提供与微生物集合相关的身份信息、数字图像和特征数据;向客户提供高质量微生物遗传资源和相关信息;通过伙伴关系加强微生物遗传资源和信息管理能力。

**1.1.3 作物生物学和分子生物学** 在对植物生物学和分子过程基本知识的认识方面,在分子、整个基因组及系统层面,加强对农作物与生物及非生物环境因素的互动关系的认识。从遗传、分子和生理水平全面了解植物微生物群如何对作物表现和效用产生正面和负面影响;拓展如何控制作物生长和发育的知识,增加对支撑作物特性和改良的生化途径及代谢过程的了解,加强对农业适应和减缓气候变化的生物理解;加深对食物(种子、水果、块茎等)品质、营养价值,以及贮存和加工特性的认识;将基本遗传和生物知识应用于作物改良的新工具。

在作物生物技术的发展、实施和评价方面,采用新的生物技术方法对作物进行改良,并评估和减轻这些改良对作物性能、农业生产系统和环境的潜在意外后果。包括用于生产基因组编辑和/或基因工程作物的新型公共工具;改进将基因组编辑和生物技术应用用于更广泛作物品种选择的方法;提高传统作物育种效率的基因工程技术;评估生物技术的影响。

**1.1.4 作物遗传学、基因组学和遗传改良的信息资源和工具** 为作物研究和育种提供互联、互操作和可搜索的信息资源和工具;将优良性状与分子标记、特定种质资源或样本联系起来的信息工具;开发新的生物信息学工具,用于数据分析和挖掘,以及管理高通量基因型、表型数据和知识,包括使用人工智能/机器学习方法;利用现有生物信息、统计建模和人工智能方法,通过有针对性的管理和计算分析,增强功能基因组注释;与用户社区和利益相关者保持并加强战略伙伴关系、培训和外联活动。

**1.2 研发布局新动向**

值得注意的是国家 301 计划(2023—2027)增

加了以下新内容。

1.2.1 植物-微生物群相互作用分析 更广泛地理解植物-微生物群协同作用及其对作物健康的贡献,将是以农业可持续的方式满足未来产量需求的关键。这种理解包括植物-微生物群的相互作用和微生物群内的多物种的相互作用;在分子、生化和生理水平上表征微生物在调节寄主作物适应性中的作用;以及对影响微生物群落招募和发展的环境及宿主因素的完善知识。旨在从遗传、分子和生理水平全面了解植物微生物群如何对作物表现和效用产生正面和负面影响。

1.2.2 用于作物改良和基因功能分析的基因组编辑 通过诱变、生物技术、基因组编辑和/或其他手段发现和/或创造的重要农业性状新变异;改进基因组编辑、诱变筛选和其他基因改造技术的应用,加快建立遗传变异性种群,以检验基因功能假设并加速品种改良;开发用于生产基因组编辑和/或基因工程作物的新型的公共工具;改进将基因组编辑和生物技术应用用于更广泛作物品种选择的方法。

1.2.3 用于田间和实验室研究的人工智能/机器学习等 利用人工智能/机器学习等方法,创新高通量、量化的表型分析方法,通过自动化、增加吞吐量、并行化或使用新的传感器及平台来提高性状分析的效率、精确度和成本效益;开发新的生物信息学工具,用于对所测定的性状数据进行分析 and 挖掘,以及管理高通量基因型与表型数据和知识;通过有针对性的管理和计算分析,增强功能基因组注释。此外,通过机器学习等方法将表型、遗传和其他“基因水平”的数据结合在一起,分析环境和管理策略对每个性状表现以及表型的影响,有效发现和预测控制不同作物重要性状的基因之功能。

## 2 我国作物种业研发布局分析

党中央、国务院高度重视种业振兴,近年来在种业方面出台了一系列政策文件和规划。在农业种质资源方面,2015 年 2 月,原农业部、国家发展和改革委员会、科技部印发《全国农作物种质资源保护与利用中长期发展规划(2015—2030 年)》<sup>[6]</sup>;2019 年 4 月,农业农村部办公厅印发《农业种质遗传资源保护与利用三年行动方案》<sup>[7]</sup>;2020 年 2 月,国务院办公厅印发《关于加强农业种质资源保护与利用的意见》<sup>[8]</sup>;2021 年 3 月,农业农村部印发《关于开展全国农业种质资源普查的通知》及《全国农

业种质资源普查总体方案(2021—2023 年)》<sup>[9]</sup>,从以上文件的发布可以看出我国政府对种质资源多样性保护和利用的重视程度。在种业发展方面,2021 年 7 月,中央全面深化改革委员会审议通过了《种业振兴行动方案》<sup>[10]</sup>。2021 年 8 月,国家发展和改革委员会、农业农村部联合印发《“十四五”现代种业提升工程建设规划》<sup>[11]</sup>,对“十四五”时期我国种业发展做出了全面部署安排。此外,2022 年 2 月国务院印发的《“十四五”推进农业农村现代化规划》<sup>[12]</sup>,2021 年 12 月农业农村部印发的《“十四五”全国农业农村科技发展规划》<sup>[13]</sup>和《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》<sup>[14]</sup>也对种业振兴相关工作做出了部署。

从对以上规划文本的分析中,可以看出我国作物种业主要布局在以下几个方面。

### 2.1 种质资源收集保存

强化种质资源保存技术研究应用。研究试管苗、超低温、DNA 保存等种质资源保存关键技术,加强对特异种质资源和重要无性繁殖作物种质资源的复份保存,确保长期保存种质的活力和遗传完整性,支撑种质资源供种分发需要<sup>[6-8,15]</sup>;研究快速、无损的活力监测和预警技术<sup>[6-8]</sup>,加强种质资源活力与遗传完整性监测,及时繁殖与更新复壮,提升种质资源保存总量和质量;加强种质资源国际合作交流,以作物起源中心和多样性中心为重点,优先引进我国缺乏的物种、野生近缘种、遗传分析工具材料等新种质以及核心种质<sup>[6-7]</sup>。

### 2.2 种质资源鉴定评价

开展种质资源多性状、多环境下的表型与基因型精准鉴定及综合评价,深度挖掘高产高效、优质、耐受、适宜机械化等重要性状突出的育种材料<sup>[6-9,15]</sup>;对特异资源开展全基因组测序与功能基因研究,发掘重要农艺性状关键基因及其有利等位基因;构建全国统一的国家农业种质资源库、作物表型与基因型数据库以及分子指纹图谱库,强化育种创新基础<sup>[8,12,14]</sup>;突破多维组学大数据分析关键技术,开发高通量种质资源“基因组-代谢组-表型组-环境组”耦合智能化鉴定技术<sup>[13]</sup>。

### 2.3 种质资源创制

针对农业生物品种精准设计的重大需求,开展种质资源形成和演化研究,挖掘控制高产优质、抗旱耐盐碱、资源节约、环境智能响应、生育期调控、品质健康以及病虫害抗性复杂性状的关键基

因及调控元件<sup>[13]</sup>;开展优异基因的遗传和育种效应研究,明确其功能及调控网络,揭示作物高产、高效、耐受等复杂性状的分子机理,规模化创制遗传稳定、目标性状突出、综合性状优良的新种质<sup>[6-9]</sup>;研究建立创新种质中优异基因快速检测、转移、聚合和追踪的技术体系<sup>[7-8]</sup>;探索建立优异种质筛选、创制、有效利用“无缝对接”的新机制,加大资源分发力度,促进创新种质、新技术的高效利用<sup>[7]</sup>。

## 2.4 现代生物育种

攻克主要农业植物高效遗传转化瓶颈,建立不依赖受体基因型和多基因叠加的高效遗传转化新技术;整合农业生物遗传学、基因组、代谢组及表型组学等数据,研发倍性育种与快速驯化、跨界改良等新技术,实现品种特化性状的精准改良<sup>[13]</sup>;加快适宜轻简栽培和机械化作业、资源高效利用的绿色新品种选育,培育高产、高效、优质、抗病虫、耐受等突破性农业新品种<sup>[13]</sup>;以大型表型与基因型鉴定平台、分子育种创新服务平台等为重点,着力打造具有国际先进水平的基础性、前沿性研究体系和以企业为主体的商业化育种体系<sup>[11]</sup>。

## 2.5 作物种质资源信息化管理

建立互联互通的国家作物种质库圃信息网络,研发信息化管理和监测预警系统,构建包含各类作物种质资源基本信息、特性信息和分子信息的数据库,提高种质资源管理利用信息化水平<sup>[6-7]</sup>。建设种质资源共享平台,实现种质资源依法向社会开放<sup>[6-7]</sup>。

## 2.6 种业基础和应用基础研究

支持开展育种理论、遗传机理及方法工具研究<sup>[11]</sup>。开展种质资源形成和演化研究,探索农业生物种质资源多样性和定向进化等规律;开展重要农艺性状形成规律研究,探索农业生物高产优质、绿色高效等复杂性状形成的规律;开展基因编辑技术原始创新,研发新型基因编辑工具;研究不依赖于受体基因型的遗传转化技术,构建适合重大品种的通用型转化体系;突破合成生物技术,构建高效细胞工厂和人工合成生物体系;研究新型全基因组选择模型,建立适合不同作物物种的全基因组选择平台<sup>[13,16]</sup>。

## 2.7 智慧种业技术研究

加快种质资源保护利用、育种创新攻关等领域数字化应用<sup>[14]</sup>。开发海量数据的建模和分析工具,开展基于农业大数据的植物数字化模拟与过程建

模分析、数据智能分析和知识模型设计研究<sup>[13]</sup>;开展人工智能在作物育种领域的基础算法研究,突破生物大数据挖掘和分析的核心算法,研究植物表型高通量获取与智能解析技术<sup>[13]</sup>;构建数字化育种平台,探索“表型+基因型”的智能化育种技术体系,推动作物育种向“精确育种”转变;推进数字化动态监测和信息化监管<sup>[14]</sup>。

## 3 中美作物种业研发布局对比分析

### 3.1 对比分析

对美国国家 301 计划和中国种业相关规划从遗传资源收集保存及信息管理、优良性状发现、分析及工具方法、优良品种培育、现代数据育种技术、基础研究五个方面进行对比分析,具体内容见表 1。

### 3.2 结论

3.2.1 中美两国的种业规划各有特点 总体来看,中国的种业规划较为宏大,从种业基础设施条件建设、种质资源普查和保护利用,到种业关键技术攻关都做了全面的战略部署,但对研发布局的描述比较笼统,缺少具体的技术研发部署。美国的“植物遗传资源、基因组学和遗传改良行动计划”(国家 301 计划)具有延续性,已是第 3 个五年规划,而且是具体针对美国植物育种研发的一个指导性规划,对研究问题、研究重点、预期产品和潜在利益都有详细描述,因此目标更明确,更具可操作性。

3.2.2 中美两国的研发布局高度吻合 高通量基因分型和表型分型技术、基因编辑技术和人工智能、机器学习等信息技术在育种领域应用等热点前沿方向,都是中美两国的研发重点,对生物技术育种和信息化育种制高点的争夺将会更加激烈。中美均将植物种质资源作为战略性资源,非常重视植物遗传资源的收集和保存,并提出加强植物遗传资源基本信息、基因型特征、关键表型等数据的管理与共享利用。

3.2.3 中美两国的品种选育方向有异有同 优质、高产、高效、多抗、耐受、资源高效利用是中美两国共同追求的优良性状。但美国注重培育作为生产生物能源原料的非粮食作物以及适合隧道系统、有机系统、小农场、家庭花园和城市景观等新生产系统和新用途需要的具有新特性的作物。中国注重培育适于轻简栽培和全程机械化生产的新品种。中美两国品种选育方向的不同,究其原因在于两国的发展阶段和需求不同。2020 年,中国农作物机播

表 1 中美作物种业研发布局对比分析

研发布局	相同点	异同点	
		美国	中国
遗传资源收集保存及信息管理	中美均提出要加强植物遗传资源的收集和长期保存,加强植物遗传资源基本信息、基因型特征、关键表型等数据管理与共享利用	开展微生物遗传资源收集保存和关键微生物基因型特征和表型评估,加强微生物遗传资源信息管理	研究超低温、DNA 保存、快速无损活力监测、遗传完整性监测和预警技术
优良性状发现、分析及工具方法	中美均提出创新高通量基因分型和表型分型技术方法,开展作物性状基因型和表型精准鉴定,发掘优异性状关键基因及其有利等位基因;改进和突破基因编辑、诱变筛选等技术;研发新型基因编辑工具	改进将基因组编辑和生物技术应用更广泛作物品种选择的方法	开展基因编辑技术原始创新,研发新型基因编辑工具
优良品种培育	中美均提出培育具有优质、高产、高效、多抗、耐受、资源高效利用、适用于加工的高附加值等优良性状的作物新品种	培育满足包括温室和隧道系统、有机系统、小农场、家庭花园和城市景观等新生产系统和新用途需要的具有新特性的作物;培育作为生产生物能源原料的非粮食作物,提高生物基产品的产量和质量	培育适于轻简栽培和全程机械化生产的新品种;培育优质青贮、高淀粉、高油、优质蛋白作物新品种
现代数字育种技术	中美均提出利用人工智能、机器学习等方法,对生物大数据进行智能分析挖掘,提高分析效率和精准度。开发新的生物信息学工具	通过机器学习等方法将表型、遗传和其他“基因水平”的数据结合在一起,分析环境和管理策略对每个性状表现以及表型的影响,有效发现和预测控制不同作物重要性状的基因之功能	开展基于大数据的植物数字化模拟与过程建模分析;突破生物大数据挖掘和分析的核心算法;研究植物表型高通量获取与智能解析技术;构建数字化育种平台
基础研究	中美均提出开展种质资源形成和演化研究,开展重要农艺性状形成机制、群体协同进化规律等研究	开展植物-微生物相互作用分析;加强对农作物与生物及非生物环境因素的互动关系的认识;加强对农业适应和减缓气候变化的生物理解;评估和减轻作物生物技术对作物性能、农艺生产系统和环境的影响	研究高效遗传转化技术,构建适合重大品种的通用型转化体系;突破合成生物技术,构建高效细胞工厂和人工合成生物体系

率和机收率分别仅为 58.98%、64.56%,缺乏适宜全程机械化生产的品种是重要原因之一<sup>[17]</sup>。美国农业集中程度高,早在 20 世纪 40 年代已基本实现农业机械化<sup>[18]</sup>,适宜机械化生产的品种选育已不是美国重点方向。

3.2.4 中美两国在基础研究方面存在明显差异  
美国非常重视从遗传、分子和生理水平研究植物微生物群是如何对作物表现和效用产生正面和负面影响的,植物-微生物群协同作用及其对作物健康的贡献是最新一期规划增加的新内容,这项研究被认为将是以农业可持续的方式满足未来产量需求的关键。同时,美国也非常重视微生物遗传资源的收集保存和鉴定评估。这方面是中国研发布局的空白点,应引起足够重视。

4 对策建议

4.1 制定连续、有针对性的植物育种专项研发计划  
美国的“植物遗传资源、基因组学和遗传改良行动计划”(国家 301 计划)是针对植物育种领域制定的目标明确、具有实用性和可操作性的专项研究计划,通过持续的规划和项目支持,一步一个台阶地研究解决现阶段存在的问题,布局未来研发方

向,推动美国在植物育种领域保持领先地位。我国应借鉴美国的研发计划,从植物育种领域现阶段的需求、亟需解决的问题、未来育种研发趋势等出发,制定出台我国植物育种领域持续的、更具针对性和可操作性的专项研发计划,并给予相应的项目支持,分阶段递进式统筹布局我国植物育种领域研发目标和计划,以提升种业核心竞争力,助力打好种业翻身仗。

4.2 加强生物育种和信息技术育种关键核心技术的研发布局

世界种业竞争的实质是科技竞争。育种 4.0 时代,生物技术育种和信息技术育种已成为各国抢占科技制高点和增强农业国际竞争力的战略重点<sup>[19-20]</sup>。美国在基因组编辑、信息技术在育种的应用等方面做了相关部署。我国应学习借鉴美国做法,从国家规划层面加强在生物技术育种、信息技术育种等育种关键核心技术方向以及生物技术和信息技术融合应用方向的战略布局,设立育种关键技术研究专项,加大财政资金的倾斜力度,强化原始创新,力争掌握种业发展主动权。此外,应强化企业创新主体地位,引导具有研发实力的企业与科研机构、高校组成创新联合体,针对生物育种和信息化育种关键核心技术开展联合攻关,培育提升种

企研发水平,促进成果加速应用。

#### 4.3 重视微生物种质资源保护利用和微生物-植物-环境互作基础研究

微生物资源是重要的战略生物资源。我国是世界上微生物资源最为丰富的国家之一,但存在资源底数不清、菌种深度鉴评滞后、核心菌种自主率不足等问题<sup>[21]</sup>,我国应高度重视微生物种质资源,开展农业微生物资源普查,摸清微生物资源家底,建立系统、有效的微生物种质资源监测与保护体系;系统开展微生物种质资源精准鉴定和评价,加强关键微生物基因型特征和表型评估;加快微生物种质资源创新利用与开发,挖掘创制本土高性能菌种,提高核心菌种自主率。此外,在农业生产系统中,微生物与土壤、作物、动物共同形成农业生态系统中最基本的物质循环,在物质转化和能量循环过程中发挥着不可或缺的重要作用<sup>[22]</sup>。美国非常重视微生物资源,在该研究方向做了相应的研发部署。鉴于微生物资源的重要作用,我国应学习借鉴美国做法,在微生物-植物-环境相互作用机理、微生物功能活性机制、微生物资源精准鉴定技术等方面加强研究布局,以加深对农业生态系统中微生物功能的认知,从而推动实现农业可持续发展和作物产量提高。

#### 参考文献:

- [1]徐克,孔令博,邵长磊,等.美国农业研究局近期科研重点及展望[J].世界农业,2018(1):18-23.
- [2]郑怀国,王爱玲,赵静娟.美国植物育种研究布局及对中国的启示[J].世界农业,2018(12):172-177.
- [3]USDA. National program 301: plant genetic resources, genomics and genetic improvement action plan 2013—2017 [EB/OL]. [2022-03-20]. <https://www.ars.usda.gov/crop-production-and-protection/plant-genetic-resources-genomics-and-genetic-improvement/docs/action-plan-2013-2017/>.
- [4]USDA. National program 301: plant genetic resources, genomics and genetic improvement action plan 2018—2022 [EB/OL]. [2022-03-20]. <https://www.ars.usda.gov/crop-production-and-protection/plant-genetic-resources-genomics-and-genetic-improvement/docs/action-plan-2018-2022/>.
- [5]USDA. National program 301: plant genetic resources, genomics and genetic improvement action plan 2023—2027 [EB/OL]. [2022-03-20]. <https://www.ars.usda.gov/crop-production-and-protection/plant-genetic-resources-genomics-and-genetic-improvement/docs/action-plan-2023-2027/>.
- [6]中华人民共和国农业部,国家发展和改革委员会,科技部.关于印发《全国农作物种质资源保护与利用中长期发展规划(2015—2030年)》的通知[EB/OL]. (2015-02-28) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/nybgh/2015/si/201711/t20171129\\_6134098.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgh/2015/si/201711/t20171129_6134098.htm).
- [7]中华人民共和国农业农村部办公厅.农业农村部办公厅关于印发农业种质遗传资源保护与利用三年行动方案的通知[EB/OL]. (2019-05-10) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/gk/zcgg/qnhnzc/201905/t20190510\\_6303709.htm](http://www.moa.gov.cn/gk/zcgg/qnhnzc/201905/t20190510_6303709.htm).
- [8]中华人民共和国国务院办公厅.国务院办公厅关于加强农业种质资源保护与利用的意见[EB/OL]. (2020-02-11) [2022-03-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-02/11/content\\_5477302.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-02/11/content_5477302.htm).
- [9]中华人民共和国农业农村部.农业农村部关于开展全国农业种质资源普查的通知[EB/OL]. (2021-03-21) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/nybzzj1/202103/t20210324\\_6364458.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/nybzzj1/202103/t20210324_6364458.htm).
- [10]本刊评论员.集中力量打好种业振兴战[J].农村工作通讯,2021(15):1.
- [11]中华人民共和国国家发展和改革委员会,农业农村部.国家发展和改革委员会农业农村部关于印发《“十四五”现代种业提升工程建设规划》的通知[EB/OL]. (2021-07-30) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202108/t20210812\\_6374010.htm](http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202108/t20210812_6374010.htm).
- [12]中华人民共和国国务院.国务院关于印发“十四五”推进农业农村现代化规划的通知[EB/OL]. (2022-02-11) [2022-03-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/11/content\\_5673082.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/11/content_5673082.htm).
- [13]中华人民共和国农业农村部.农业农村部关于印发《“十四五”全国农业农村科技发展规划》的通知[EB/OL]. (2022-01-26) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202112/t20211229\\_6385942.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202112/t20211229_6385942.htm).
- [14]中华人民共和国农业农村部.农业农村部关于印发《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》的通知[EB/OL]. (2022-03-09) [2022-03-20]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/SCYJJXS/202203/t20220309\\_6391175.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/SCYJJXS/202203/t20220309_6391175.htm).
- [15]种质资源保护现状及发展趋势[J].种业导刊,2015(8):28-30.
- [16]赵安之.打好种业翻身仗的思考[J].农村工作通讯,2021(11):33-34.
- [17]中华人民共和国农业农村部.2020年全国农业机械化发展统计公报[EB/OL]. (2021-09-08) [2022-03-20]. [http://www.njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202109/t20210908\\_6376013.htm](http://www.njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202109/t20210908_6376013.htm).
- [18]刘鹏.浅析美国农业机械化进程及对中国的启示[J].农村经济与科技,2015,26(9):227-229.
- [19]张曦文.发展生物育种 打好种业翻身仗[N].中国财经报,2022-1-20(008).
- [20]张颖,廖生进,王璟璐,等.信息技术与智能装备助力智能设计育种[J].吉林农业大学学报,2021,43(2):119-129.
- [21]朱汉斌.微生物种业应纳入现代种业体系[N].中国科学报,2022-3-11(001).
- [22]潘慧.省微生物研究所:高效利用微生物资源 支撑农业可持续发展[J].广东科技,2021,30(9):21-24.