

我国化学肥料和农药减施增效综合技术研发 顶层布局与实施进展

张 凯 冯推紫 熊 超 张 昭*

(农业农村部科技发展中心, 北京 100122)

摘要: 化学肥料和农药是保障国家粮食安全和主要农产品有效供给不可替代的投入品, 2015年我国以占世界7%的耕地面积, 投入了超过世界总量33%的化肥农药。因此, 围绕解决我国化肥农药过量施用带来的生态环境污染、农产品质量安全、耕地质量下降、生物多样性破坏、农产品生产成本持续升高等问题已成为关注重点。2016年至今, “化学肥料和农药减施增效综合技术研发”试点专项以突破减施途径和创新减施产品与技术装备为抓手, 聚焦粮食作物、经济作物、蔬菜、果树等重要农产品, 依托农业产业政策进行了一体化实施。本文综述了此专项的整体布局、实施效果、科技产出、推广成效和管理经验, 统计分析了研发、试验、转化、推广过程中的年度任务部署、中央财政资金分布、主持单位及课题单位分布、参与人员结构层次等相关数据, 并总结了基础理论研究、共性关键技术、集成示范推广3个研究领域的阶段性成效, 以期对减肥减药领域相关科研人员、推广机构、管理部门、技术用户、经营主体等提供参考。

关键词: 化肥; 农药; 减施增效; 负增长; 国家重点研发计划

Top design and progress in research and development of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides in China

Zhang Kai Feng Tuizi Xiong Chao Zhang Zhao*

(Development Center of Science and Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100122, China)

Abstract: Chemical fertilizers and pesticides are irreplaceable agricultural inputs to ensure national food security and effective supply of major agricultural products. In 2015, the cultivated area of China only accounts for 7% of the world; however the chemical fertilizers and pesticides consumed more than 33% of the world. Since 2016, the specific funding of “Research and Development of Synthesis Technique for Reduction and Synergy of Chemical Fertilizers and Pesticides” was carried out to solve the problems caused by excessive application of chemical fertilizers and pesticides, such as ecological environmental pollution, safety of agricultural products, decline of cultivated land quality, destruction of biological diversity, and continuous increase of production costs of agricultural products. Depending on the means, products and equipment for reduction, this funding was designed to focus on important agricultural products such as food crops, cash crops, vegetables and fruiters and integrally implemented in compliance with the agricultural policy. The overall layout, effect of implementation, science and technology output, technical popularization and managerial experiences of this funding were introduced, the data related to annual task deployment, fund distribution, undertaking unit arrangement, personnel structure during its research, test, transformation, and extension were analyzed. Besides, the current achievements in three areas of basic theory, key technology and technology extension were also

基金项目: 国家财政项目“专业机构管理费”(2069999)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: okagri@163.com

收稿日期: 2019-05-24

summarized, hoping to provide references for relevant researchers, service centers, administrative departments, technical users and business subjects.

Key words: chemical fertilizer; pesticides; reduction and synergy; negative growth; national key R&D program of China

化学肥料和农药是保障国家粮食安全和主要农产品有效供给不可替代的投入品,2015年我国化肥总用量超过6 000万t,农药总用量超过180万t,耕地面积占世界的7%,而投入了超过世界总量33%的化肥农药,是世界平均水平的3倍,是欧美发达国家的2倍。因此,围绕解决我国化肥农药过量施用带来的生态环境污染、农产品质量安全、生物多样性破坏、耕地质量下降、农产品生产成本持续升高等问题,在新一轮中央财政科技计划管理改革的大背景下(http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-03/12/content_8711.htm),中央财政启动了国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”试点专项(以下简称“两减”专项)。

本文对“十三五”期间“两减”专项的顶层设计、整体布局、总体进展、实施效果、科技产出、推广成效和管理经验进行综述,统计分析化学肥料和农药减施增效综合技术在团队协作研发、技术试验推广、成果转化应用过程中的年度任务部署、中央财政资金分布、主持单位及课题单位分布、参与人员结构层次等相关数据,并总结基础理论研究、共性关键技术、集成示范推广3个研究领域的阶段性成效,以期为减肥减药领域相关科研人员、推广机构、管理部门、技术用户、经营主体等提供参考,从而有效发挥化学肥料和农药减施增效综合技术在支撑我国“一控两减三基本”(http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/qnhnzc/201504/t20150413_4524372.htm)和“化肥农药负增长”中的战略作用。

1 顶层设计与整体布局

1.1 总体思路

“两减”专项自启动以来,围绕减肥减药国家重大战略需求,以突破化肥农药减施增效途径和创新减肥减药产品与技术装备为主抓手,聚焦主要粮食作物、经济作物、蔬菜、果树等重要农产品,依托农业产业政策,强化产、学、研、用协同创新和推广机制,按照“基础理论、关键技术、集成示范”三大板块进行了一体化实施,为实现我国化肥农药负增长提供了强有力的科技支撑。

1.2 实施目标

“十三五”期间专项实施的总体目标是,通过构

建化肥农药减施与高效利用的理论、方法和技术推广体系,实现作物生产提质、节本、增效。到2020年,项目区氮肥利用率由33%提高到43%,磷肥利用率由24%提高到34%,氮磷减施20%;农药利用率由35%提高到45%,减施30%。

1.3 任务设置

针对国家战略需求和凝练出的重大问题,专项围绕化肥农药减施的理论基础、产品装备、技术研发、培训示范、保障机制5大环节,综合考虑现阶段我国农业科研体系构架和资源分布情况,启动了3大领域12项任务共计49个项目。其中,化肥农药高效利用机理与限量标准部分有3项任务(启动9个项目),技术创新与装备研发有4项任务(启动15个项目),集成示范推广有5项任务(启动25个项目)。

1.4 年度部署

作为“十三五”期间资金体量最大的涉农专项,“两减”专项涉及中央财政概算23.97亿元。其中,2016年13个项目,中央财政预算7.80亿元;2017年21个项目,中央财政预算9.29亿元;2018年15个项目,中央财政预算6.20亿元(表1)。

2016年立项的13个项目中,基础理论研究类项目3个,重点在化肥农药施用限量标准、土壤养分利用影响机制等方面追踪国际前沿,取得原始创新,引领相关学科发展。共性关键技术类项目4个,包括肥药高效利用技术、新型肥药产品和肥药精准施用装备的研发创制,重点是提高资源利用效率和肥药施用机械化水平。集成示范推广类项目6个,包括长江中下游水稻、设施蔬菜、苹果和茶叶,在创新技术推广体系、促进技术成果转化方面为后续项目提供借鉴;同时包括绩效验证与评估项目2个,重点构建评价指标和方法,针对技术的科学性、适用性和稳定性进行验证和评价,为技术集成提供保障(表2)。

2017年立项的21个项目中,基础理论研究类项目6个,重点在氮磷转化与高效利用机理、农药对靶高效传递与沉积、活体生物农药增效、有害生物生态调控等方面取得突破,促进相关学科发展。共性关键技术类项目10个,包括肥药高效利用技术装备、新型肥料、各种新型农药产品的开发创制。集成示范推广类项目5个,包括黄淮海冬小麦、北方玉米、棉花、柑橘、热带果树化肥农药减施技术集成研究与示范(表2)。

2018年立项的15个项目中,共性关键技术类项目1个,涉及高效低风险小分子农药创制。集成示范推广14个,包括北方、华南及西南水稻、北方及长江流域小麦、黄淮海夏玉米、南方山地玉米、以及马

铃薯、油菜、大豆、花生、特色经济作物、露地蔬菜、葡萄、瓜类、梨、桃、柑橘等各种作物化肥农药减施技术集成研究与示范(表2)。

表1 2016—2018年我国专项任务项目和经费年度数据统计

Table 1 Annual statistics of projects and fundings of special missions in China in 2016—2018

立项 年度 Year	立项数量(个) Number of projects				中央财政资金经费(万元) Central fiscal investment(ten thousand yuan)			
	基础理论研究 Basic theory	共性关键技术 Key technology	集成示范推广 Technology extension	合计 Total	基础理论研究 Basic theory	共性关键技术 Key technology	集成示范推广 Technology extension	合计 Total
2016	3	4	6	13	19 100	25 540	33 400	78 040
2017	6	10	5	21	27 544	35 609	29 749	92 902
2018	0	1	14	15	0	4 379	57 594	61 973
合计 Total	9	15	25	49	46 644	65 528	120 743	232 915

表2 2016—2018年我国专项任务部署情况

Table 2 Deployment of special missions in China in 2016—2018

领域 Area	项目名称 Project name	项目主持单位 Auspice	中央财政资金经 费(万元) Central fiscal invest-ment (ten thousand yuan)	立项 年度 Year
基础 理论 研究 Basic theory	肥料养分推荐方法与限量标准 Nutrient recommendation and limits of chemical fertilizer	中国农业科学院农业资源与农业区 划研究所 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences	6 800	2016
	化学农药在我国不同种植体系的归趋特征与限量标准 Characteristics and limits of chemical pesticides in different cropping systems in China	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	6 800	2016
	耕地地力影响化肥养分利用的机制与调控 Mechan- ism and regulation of cultivated land fertility on fer- tilizer utilization	中国科学院南京土壤研究所 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences	5 500	2016
	肥料氮素迁移转化过程与损失阻控机制 Mechanism of transfer, conversion process and loss control for nitrogen in fertilizer	中国科学院南京土壤研究所 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences	5 500	2017
	肥料磷素转化与高效利用机理 Mechanism of conversion and efficient utilization for phosphorus in fertilizer	中国农业大学 China Agricultural University	4 866	2017
	化学农药对靶高效传递与沉积机制及调控 Mechanism of target efficient transfer, deposition and regulation of chemical pesticides	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	4 376	2017
	活体生物农药增效及有害生物生态调控机制 Mech- anism of efficiency enhancement for biological pesti- cide and ecological regulation of pests	中国科学院动物研究所 Institute of zoology, Chinese Acade- my of Sciences	5 480	2017
	农业生物药物分子靶标发现与绿色药物分子设计 Molecular target discovery and ecology design of agri- cultural biological chemicals	华东理工大学 East China University of Science and Technology	2 355	2017
	耕地地力影响农业有害生物发生的机制与调控 Mechanism and regulation of cultivated land fertility on agricultural pests	中国科学院微生物研究所 Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences	4 967	2017

续表 2 Continued

领域 Area	项目名称 Project name	项目主持单位 Auspice	中央财政资金经 费(万元) Central fiscal invest-ment (ten thousand yuan)	立项 年度 Year
共性 关键 技术 Key techno- logy	新型复混肥料及水溶肥料研制 Development of new compound fertilizer and water-soluble fertilizer	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences	5 940	2016
	化学农药协同增效关键技术及产品研发 Development of key synergy technology and product of chemical pesticides	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	6 500	2016
	智能化精准施肥及肥料深施技术及其装备 Technology and equipment of intelligent, precise and deep application of fertilizers	北京农业智能装备技术研究中心 Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture	6 400	2016
	地面与航空高工效施药技术及智能化装备 Technology and intelligent equipment of high efficiency ground and aviation application of chemical pesticides	华南农业大学 South China Agricultural University	6 700	2016
	新型缓/控释肥料与稳定肥料研制 Development of new generation of slow-controlled release fertilizer and stable fertilizers	金正大生态工程集团股份有限公司 Kingenta Ecological Engineering Group Co., Ltd.	4 941	2017
	生物炭基肥料及微生物肥料研制 Development of biochar base fertilizers and microbial fertilizers	沈阳农业大学 Shenyang Agricultural University	4 771	2017
	作物免疫调控与物理防控技术及产品研发 Development of technology and product for crop immunoregulation and physical control	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	5 003	2017
	天敌昆虫防控技术及产品研发 Development of technology and product for natural enemy insect application	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	2 536	2017
	新型高效生物杀菌剂研发 Development of new and efficient biological fungicides	中国农业大学 China Agricultural University	1 987	2017
	新型高效生物杀虫剂研发 Development of new and efficient biological pesticides	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	2 022	2017
	新型高效植物生长调节剂和生物除草剂研发 Development of new and efficient plant growth regulators and biological herbicides	中国农业大学 China Agricultural University	2 198	2017
	天然绿色生物农药的合成生物学与组合合成技术 Synthetic biology and combinatorial biosynthesis technique of natural green biological pesticides	天津大学 Tianjin University	1 850	2017
	养分原位监测与水肥一体化施肥技术及其装备 Technology and equipment of in situ monitoring of nutrients and integration of water and fertilizers	中国农业大学 China Agricultural University	4 636	2017
	种子、种苗与土壤处理技术及配套装备研发 Technology and auxiliary equipment of seeds, seedlings and soil treatment	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	5 665	2017
	高效低风险小分子农药和制剂研发与示范 Development and demonstration of high efficiency and low-risk small molecule pesticides and preparations	贵州大学 Guizhou University	4 379	2018

续表 2 Continued

领域 Area	项目名称 Project name	项目主持单位 Auspice	中央财政资金经费 (万元) Central fiscal investment (ten thousand yuan)	立项 年度 Year
集成 示范 推广 Tech- nology exten- sion	长江中下游水稻化肥农药减施增效技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the rice in the Middle-Lower Yangtze river	浙江省农业科学院 Zhejiang Academy of Agricultural Sciences	6 200	2016
	茶园化肥农药减施增效技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the tea in China	中国农业科学院茶叶研究所 Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences	6 000	2016
	设施蔬菜化肥农药减施增效技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the greenhouse vegetables in China	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences	7 000	2016
	苹果化肥农药减施增效技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the apple in China	山东农业大学 Shandong Agricultural University	6 000	2016
	化肥农药减施增效的环境效应评价 Environmental effect evaluation of reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides	农业部环境保护科研监测所 Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture	4 200	2016
	化肥农药减施增效技术应用及评估研究 Evaluation of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides	全国农业技术推广服务中心 National Agricultural Technology Extend Service Center	4 000	2016
	黄淮海冬小麦化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the Huang-Huai-Hai winter wheat	河南省农业科学院 Henan Academy of Agricultural Sciences	6 343	2017
	北方玉米化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the maize in north China	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	5 494	2017
	棉花化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the cotton in China	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	6 331	2017
	柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the citrus in China	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	5 880	2017
	热带果树化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the tropical fruits in China	中国热带农业科学院环境与植物保护研究所 Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	5 701	2017
	北方水稻化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the rice in north China	辽宁省农业科学院 Liaoning Academy of Agricultural Sciences	3 661	2018

续表 2 Continued

领域 Area	项目名称 Project name	项目主持单位 Auspice	中央财政资金经费 (万元) Central fiscal invest-ment (ten thousand yuan)	立 项 年 度 Year
集成示 范推广 Tech- nology exten- sion	华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the rice in south and southwest China	华南农业大学 South China Agricultural University	3 815	2018
	北方小麦化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the wheat in north China	西北农林科技大学 Northwest A&F University	3 808	2018
	长江流域冬小麦化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the winter wheat in Yangtze river basin	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	4 579	2018
	黄淮海夏玉米化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the Huang-Huai-Hai summer maize	河南农业大学 Henan Agricultural University	4 361	2018
	南方山地玉米化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the maize in south moutain	四川省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences	3 763	2018
	马铃薯化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the potato in China	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences	3 945	2018
	油菜化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the rape in China	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	4 120	2018
	大豆及花生化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the soybean and peanut in China	南京农业大学 Nanjing Agricultural University	4 381	2018
	特色经济作物化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the characteristic economic crop in China	中国热带农业科学院环境与 植物保护研究所 Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences	4 485	2018
	露地蔬菜化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the outdoor vegetable in China	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 The Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences	5 847	2018
	葡萄及瓜类化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesticides on the grape and cucurbites in China	中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences	4 089	2018

续表 2 Continued

领域 Area	项目名称 Project name	项目主持单位 Auspice	国中央财政资金经 费(万元) Central fiscal invest-ment (ten thousand yuan)	立项 年度 Year
集成示 范推广 Tech- nology exten- sion	梨树和桃树化肥农药减施技术集成研究与示范 Research and demonstration of synthesis technique for reduction and synergy of chemical fertilizers and pesti- cides on the pear and peach in China	江苏省农业科学院 Jiangsu Academy of Agricultural Sciences	3 888	2018
	柑橘黄龙病综合防控技术集成研究与示范 Development and demonstration of synthesis control technique for Citrus Huanglongbing in China	西南大学 Southwest University	2 852	2018

1.5 项目分布

从项目主持单位类型来看,大专院校共主持了17个项目,占项目总数的35%,中央财政资金经费6.89亿元。科研院所共主持了31项,占项目总数的63%,中央财政资金经费15.91亿元。企业主持仅1项,占项目总数的2%,中央财政资金经费0.49亿元(图1-A)。

从项目主持单位地域分布来看,2016—2018年项目主持单位分别来自15个省市的29家单位。其中,来自北京市、江苏省的项目主持单位数量位居前列,分别为24家和4家,分别占主持单位总数的49%和8%;中央财政资金经费分别为11.75亿元

和1.93亿元,分别占总预算的50%和8%。

此外,通过对项目所属课题分布情况进行统计分析,3年立项的49个项目共包括434个课题。其中,2016年立项139个课题,2017年立项161个课题,2018年立项134个课题。从课题承担单位来看,大专院校共承担了191个课题,所占比例为44%,科研院所共承担了228个课题,所占比例为53%,企业共承担了15个课题,所占比例为3%(图1-B)。

1.6 参与人员

2016—2018年立项项目参加总人数共5 180人,其中,高级职称3 302人,占总人数的64%;具有博士学位的人员共有3 019人,占总人数的58%(图2)。

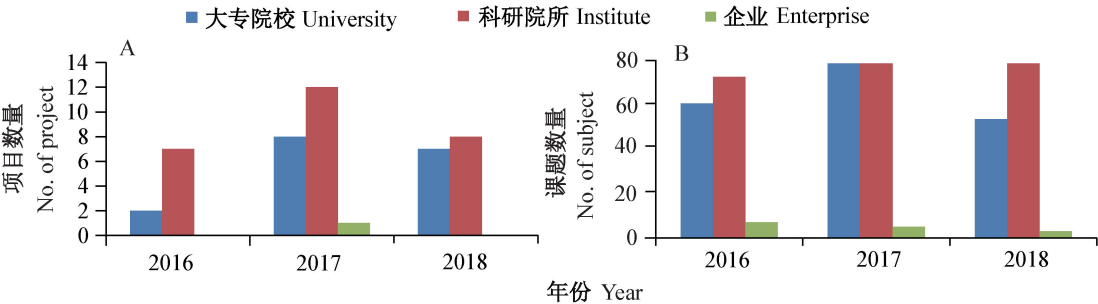


图1 2016—2018年我国项目(A)、课题(B)年度分布情况
Fig. 1 Annual distribution of number of project (A) and subject (B) in China in 2016—2018

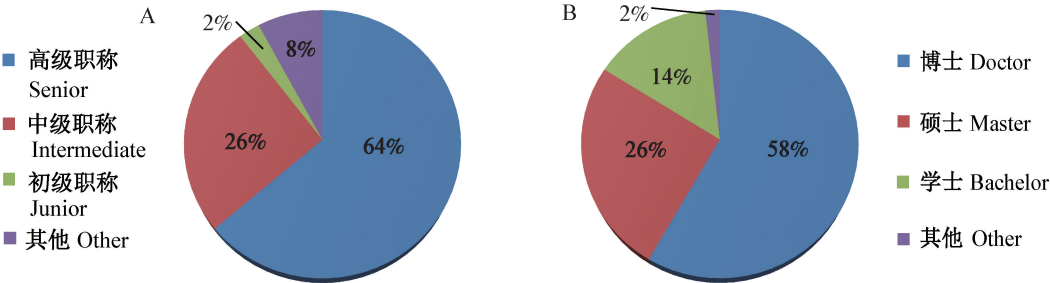


图2 2016—2018年立项项目参与人员学历(A)、职称情况(B)
Fig. 2 Educational background (A) and titles (B) of participants in 2016—2018

2 总体进展和实施效果

2.1 基础理论研究领域

2.1.1 化肥氮磷减施增效机理与调控途径

针对粮食作物、经济作物、蔬菜和果树,以东北、华北、西北、华东、华中、华南和西南等生态区为研究区域,研究了肥料氮素迁移转化过程(Xia et al., 2017)、阻控机理与增效途径(Zhou et al., 2018)、磷素转化与高效利用的化学及生物学机制(Zhang et al., 2018),此外还研究了秸秆还田下肥料氮磷高效利用机制(谭亦杭等, 2018),钾、硼、锌与氮磷协同增效机理(王岩等, 2018),以及畜禽有机肥施用下肥料氮磷转化与减施机理。初步阐明了我国不同区域和种植体系的化肥氮磷损失规律、无效化阻控增效机理,提出了肥料养分推荐新技术体系和氮磷施用标准,为化肥减量替代技术、产品及智能化施肥装备研发奠定了理论基础。

2.1.2 耕地地力影响化肥农药高效利用的机制

目前,有些学者对不同耕地地力水平下化肥养分利用效率和有害生物发生的时空变化特征及驱动因素进行研究(An et al., 2018),重点研究了土壤酸化、盐碱化、连作障碍、板结粘闭、耕层变浅等对化肥养分资源利用和有害生物发生的影响及调控机制(Bao et al., 2019),耕地培肥与管理措施对化肥养分利用效率和有害生物发生的影响(He et al., 2018),以及土壤-植物-微生物互作及调控机理(Wei et al., 2018),土壤补偿物质对化肥养分利用的促进机制(Jin et al., 2019),构建了典型耕地地力指标与氮磷偏生产力相关模型(Yin et al., 2018)。初步了解耕地地力与管理技术影响化肥农药高效利用的机理,提出不同耕地肥力下化肥农药减施的调控途径与技术原理,为构建不同耕地地力下的减施调控技术体系提供了理论依据。

2.1.3 化学农药减量控制机理与调控途径

以主要粮食作物、经济作物、蔬菜和果树种植体系为对象,Tao et al. (2017)研究了化学农药在不同种植体系中的归趋特征;Wu et al. (2018)报道了化学农药在靶标植物上高效沉积持留及调控机制以及环境因素影响化学农药高效利用机理;Cui et al. (2018a)研究了微生物农药的作用机理及调控机制;程冰峰等(2018)明确了对天敌产品货架期调控、有害生物生态调控等机制。以上研究阐明了化学农药在不同种植体系中的残留特征、影响因素及调控机制,初步揭示了微生物农药作用机理、天敌产品货架期调控机制及有害生物生态调控途径,建立了施用标准的原则和方法,为新型高效农药及替代技术研

发,及智能化施用装备研发技术体系的建立奠定了理论基础。

2.2 共性关键技术领域

2.2.1 新型肥料与化肥替代技术及产品研发

通过研究元素配比、养分形态、纳米材料、天然生物资源对肥料养分的增效作用,研发了新型增效复合肥与增值肥料(许猛等, 2018)以及相应的连续化和自动化包膜工艺,与低成本、可降解和绿色环保的新型缓释肥料以及多功能、性质稳定、成本低廉的高效水溶肥料(张健等, 2018),集根际促生、溶磷解钾、土壤改良等功能于一体的新型微生物肥料(Ma et al., 2018),及全元生物有机肥;开发了生物炭基肥料及环境养分利用技术(Chen et al., 2018)和基于绿肥及高效生物固氮的化肥减施技术(夏海林等, 2018);初步建立了我国新型肥料研发技术体系,开发了一大批化肥减量替代技术和产品,在万亩示范方内实现新型肥料与化肥替代技术,该技术比常规肥料和习惯施肥减量施用12%,利用率提高6个百分点。

2.2.2 新型农药及化学农药替代技术研发

基于多基因聚合载体技术,目前已研制出RNAi调控产品(Cui et al., 2018b),如功能性糖类、酶类、蛋白质类、作物内生真菌类等作物免疫诱抗剂(Jia et al., 2018),新型高效、安全的作物生长发育调控产品(Gao et al., 2018),天敌防控技术及产品(Li et al., 2018);发现了新型动物源、植物源和微生物源等活性成分并研发生物源活性产品(Zhu et al., 2018);研发了环境友好型新光源、新能源等智能化光波诱杀技术(Sarker et al., 2018)以及化学农药协同增效和智能控释技术及产品(Wang et al., 2018);该技术实现了新型农药与替代技术,比常规化学农药减量施用15%,为建设主要作物重大病虫害全程立体化绿色综合防控体系奠定了基础。

2.2.3 施肥技术与智能装备研发

以主要粮食作物、经济作物、蔬菜和果树种植体系为对象,施印炎等(2017)和Zhou et al. (2018)研究了基于现代信息技术的智能化精准施肥技术,养分快速诊断、氮素实时监控及智能化原位监测技术以及水肥一体化施肥技术;冯慧敏等(2018)集成高效施肥技术与装备一体化的智能化软硬件系统,研发智能化肥料深施技术及其装备、智能化种肥同播机械和中耕施肥机械;研发液体肥料高效施用技术,以及有机类肥料高效施用技术与智能化施肥装备;建立了我国智能化装备研发技术体系,实现高效施肥技术与智能化装备,该装备比习惯施肥化肥减量施

用10%,化肥利用率提高3个百分点,其中智能化施肥效率达到人工施肥的10倍以上。

2.2.4 施药技术与智能装备研发

目前,已有研究报道了土壤消毒技术、种子种苗长效缓释药剂处理技术(曹勘程等,2017)、庄地面自走式喷杆喷雾技术(庄腾飞等,2018)、航空高工效施药技术等,构建了一套完整的化学农药高效施用技术及智能化装备体系;建立我国农药施用智能化装备研发技术体系,形成新型高效施药新技术;实现田间防治效率大于 $2\text{ hm}^2/\text{h}$,节省劳动力成本50%的同时农药减施15%。

2.3 集成示范推广领域

“两减”专项实施以来,为粮食作物、经济作物、蔬菜、果树化肥农药负增长提供了有力的科技支撑。其中,粮食作物主要包括水稻、小麦、玉米、马铃薯。经济作物以棉花、油菜、大豆、甘蔗、茶叶、花生及特种经济作物为主。蔬菜主要以东北寒区、西北干旱区、环渤海暖温带、长江流域与亚热带蔬菜主产区的设施蔬菜和露地蔬菜为主。果树主要以苹果、柑橘、葡萄、梨、桃、热带果树、西瓜、甜瓜为主。

2.3.1 粮食作物

至今已集成了稻油轮作水稻化肥农药减施增效(袁嫚嫚等,2018)、小麦一拌两喷-缓控释肥-优化施肥减氮一次施用综合技术、膜下滴灌模式下玉米化肥农药减施增效(张鹏飞等,2018)等区域综合技术模式64套,在长江中下游/北方/华南/西南稻区、黄淮海冬小麦/北方小麦/长江流域冬小麦产区、北方春玉米/黄淮海夏玉米/西北灌溉玉米/南方山地玉米产区、以及西南马铃薯主产区建立示范基地381个,示范区化肥平均减量22%,农药减量31%,平均增产5%,培训农民16.86万人次,培训基层农技人员3.05万人次,核心示范面积 125 万 hm^2 ,推广辐射 258 万 hm^2 。

2.3.2 经济作物

以棉花、油菜、大豆、甘蔗、茶叶、花生及特种经济作物为对象,集成了长江中下游棉花化肥农药减施增效(Hu et al., 2017)、平原平坝水旱轮作冬油菜化肥农药减施增效(鲁剑巍等,2018)等综合技术模式53套,在新疆/甘肃河西走廊/黄河流域/长江流域棉区、亚热带和西南茶区、华南甘蔗产区、北方/长江流域花生和大豆产区等主产区建立示范基地112个,示范区化肥平均减量26%,农药减量29%,平均增产2.5%,培训农民15.67万人次,培训基层农业技术人员1.77万人次,核心示范面积 $1\,584\text{ 万 hm}^2$,推

广辐射面积 $2\,880\text{ 万 hm}^2$ 。

2.3.3 蔬菜

以叶菜类、果菜类、根茎类、葱蒜类露地/设施蔬菜为研究对象,集成了鲁西地区日光温室秋延迟番茄水肥药协同增效、长江中下游南瓜-甘蓝轮作化肥农药减施等综合技术模式29套,在东北寒区、西北干旱区、环渤海暖温带、长江流域与华南亚热带多雨区等蔬菜主产区建立示范基地114个,示范区化肥平均减量33%,农药减量35%,平均增产3%,培训农民5.09万人次,培训基层农技人员9 000人次,核心示范面积 17 万 hm^2 ,推广辐射面积 45 万 hm^2 。

2.3.4 果树

以苹果、柑橘、葡萄、梨、桃、热带果树、西甜瓜等为对象,集成赣南-湘南-桂北柑橘、葡萄避雨设施栽培等化肥农药减施增效等综合技术模式34套,在渤海湾/黄土高原苹果产区、西北/华北/黄河故道等梨和桃产区、长三角/华中/西南葡萄和西甜瓜产区、华南热带水果产区建立示范基地355个,示范区化肥平均减量29%,农药减量35%,平均增产超过4%。培训农民20.32万人次,培训基层农业技术人员2.14万人次,核心示范面积 48 万 hm^2 ,推广辐射面积 92 万 hm^2 。

3 科技产出和管理成效

3.1 科技产出

专项实施过程中,通过对各项目承担单位的统计,截至2018年12月,“两减”专项阐明了44项新机理,508项新技术、新工艺、新方法,559个新产品、新装置,总示范推广面积超过 933 万 hm^2 ,获得发明专利524项,登记软件著作权237项,发布各项标准251项,转让成果38项,发表各类论文2 761篇,其中SCI有1 369篇,获省部级以上奖励127项,培养研究生2 074余名,培训新型职业农民和农技人员超过65万人次。总体来说,专项全面完成了中期关键节点的各项任务,实施3年来已经完成了5年全部任务指标的76%,预期到2020年可以圆满完成专项目标,部分考核指标可以超额完成。

3.2 管理成效

在具体组织上,农业农村部科技发展中心按照“接得住,管得好”的要求,落实中央“放管服”精神,坚持“严格规范、创新务实,服务高效、廉洁公正”的理念,坚持问题导向和目标导向,以“技术研发创新度、与产业需求关联度、对产业发展贡献度”作为项目实施的综合绩效评价标准,形成了政府部门、专业机构、项目团队、咨询专家四方可以有效对接的格

局,取得了显著成效。

专项全面实施3年来,主动向各园区筛选、推介新技术、新模式、新产品,实施区域覆盖了28个省、市、自治区的1 022个县。同时,各项目试验工作与农业农村部科教司、种植业司、农机化司、农田建设管理司、全国农技中心、生态总站等20余家行业部门司局、单位的核心业务高度融合。经过对试验示范基地分布数据进行统计和比对分析,各项目试验区与产业部门已划定和重点支持的示范区高度融合,例如,耕地保护与质量提升促进化肥减量增效、农作物秸秆综合利用、果菜茶有机肥替代化肥、病虫害统防统治与绿色防控融合示范基地等,平均覆盖率超过了90%,在提升区域农业科技水平和综合竞争力,支撑现代农业生产体系建设等方面已初显成效,起到了试点打样的作用,为丰富和完善产学研无缝对接、以及科技驱动产业发展提供了一项可复制、可参考、可推广的样板。

参 考 文 献 (References)

- An N, Wei WL, Qiao L, Zhang FS, Christie P, Jiang RF, Dobermann A, Goulding KWT, Fan JL, Fan MS. 2018. Agronomic and environmental causes of yield and nitrogen use efficiency gaps in Chinese rice farming systems. *European Journal of Agronomy*, 93: 40–49
- Bao YW, Huang LH, Li YY, Wang MM, Liang ZW. 2019. How different nitrogen application rates affect yield composition and nitrogen uptake of rice (*Oryza sativa* L.) in a saline-sodic paddy field. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(2): 553–564
- Cao AC, Liu XM, Guo MX, Wang QX, Li Y, Ouyang CB, Yan DD. 2017. Incidences of soil-borne diseases and control measures. *Plant Protection*, 43(2): 6–16 (in Chinese) [曹勘程, 刘晓漫, 郭美霞, 王秋霞, 李园, 欧阳灿彬, 颜冬冬. 2017. 作物土传病害的危害及防治技术. *植物保护*, 43(2): 6–16]
- Chen D, Wang C, Shen JL, Li Y, Wu JS. 2018. Response of CH₄ emissions to straw and biochar applications in double-rice cropping systems: insights from observations and modeling. *Environmental Pollution*, 235: 95–103
- Cheng BF, Yang QW, Zhou ZH, Wang MH. 2018. Photolysis and soil degradation of metconazole. *Environmental Chemistry*, 37(10): 2230–2236 (in Chinese) [程冰峰, 杨倩文, 周自豪, 王鸣华. 2018. 叶菌唑的光解和土壤降解特性研究. *环境化学*, 37(10): 2230–2236]
- Cui N, Wang SG, Khorram MS, Fang H, Yu YL. 2018a. Microbial degradation of fomesafen and detoxification of fomesafen-contaminated soil by the newly isolated strain *Bacillus* sp. FE-1 via a proposed biochemical degradation pathway. *Science of the Total Environment*, 616/617: 1612–1619
- Cui WC, Wang B, Guo MB, Liu Y, Jacquín-Joly E, Yan SC, Wang GR. 2018b. A receptor-neuron correlate for the detection of attractive plant volatiles in, *Helicoverpa assulta*, (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 97: 31–39
- Feng HM, Gao NN, Meng ZJ, Chen LP, Li Y, Guo YM. 2018. Design and experiment of deep fertilizer applicator based on autonomous navigation for precise row-following. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 49(4): 60–67 (in Chinese) [冯慧敏, 高娜娜, 孟志军, 陈立平, 李由, 郭玉明. 2018. 基于自动导航的小麦精准对行深施追肥机设计与试验. *农业机械学报*, 49(4): 60–67]
- Gao F, Yu S, Tao Q, Tan WM, Duan LS, Li ZH, Cui HX. 2018. Lignosulfonate improves photo stability and bioactivity of abscisic acid under ultraviolet radiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26): 6585–6593
- He TH, Liu DY, Yuan JJ, Luo JF, Lindsey S, Bolan N, Ding WX. 2018. Effects of application of inhibitors and biochar to fertilizer on gaseous nitrogen emissions from an intensively managed wheat field. *Science of the Total Environment*, 628/629: 121–130
- Hu W, Dai Z, Yang JS, Snider JL, Wang SS, Meng YL, Wang YH, Chen BL, Zhao WQ, Zhou ZG. 2017. Cultivar sensitivity of cotton seed yield to potassium availability is associated with differences in carbohydrate metabolism in the developing embryo. *Field Crops Research*, 214: 301–309
- Jia XC, Zeng HH, Wang WX, Zhang FY, Yin H. 2018. Chitosan oligosaccharide induces resistance to *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 in *Arabidopsis thaliana* by activating both salicylic acid- and jasmonic acid-mediated pathways. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(12): 1271–1279
- Jin ZW, Chen C, Chen XM, Hopkins I, Zhang XL, Han ZQ, Jiang F, Bill G. 2019. The crucial factors of soil fertility and rapeseed yield - a five year field trial with biochar addition in upland red soil, China. *Science of the Total Environment*, 649: 1467–1480
- Li YY, Wang MZ, Gao F, Zhang HZ, Chen HY, Wang MQ, Liu CX, Zhang LS. 2018. Exploiting diapause and cold tolerance to enhance the use of the green lacewing *Chrysopa formosa* for biological control. *Biological Control*, 127: 116–126
- Lu JW, Ren T, Cong RH, Li XK, Zhang YY. 2018. Prospects of research on fertilization status and technology of rapeseed in China. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 40(5): 712–720 (in Chinese) [鲁剑巍, 任涛, 丛日环, 李小坤, 张洋洋. 2018. 我国油菜施肥状况及施肥技术研究展望. *中国油料作物学报*, 40(5): 712–720]
- Ma JJ, Wang CQ, Wang HD, Liu K, Zhang TR, Yao LT, Zhao Z, Du BH, Ding YQ. 2018. Analysis of the complete genome sequence of *Bacillus atrophaeus* GQJK17 reveals its biocontrol characteristics as a plant growth-promoting rhizobacterium. *BioMed Research International*, 2018: 9473542
- Sarker SC, Wang ED, Wu SY, Lei ZG. 2018. Application of trap cropping as companion plants for the management of agricultural pests. *Insects*, 9: 128
- Shi YY, Chen M, Wang XC, Odhiambo MO, Zhang YN, Ding WM. 2017. Analysis and experiment of fertilizing performance for precision fertilizer applicator in rice and wheat fields. *Transactions of*

- the Chinese Society for Agricultural Machinery, 48(7): 102–108 (in Chinese) [施印炎, 陈满, 汪小昆, Odhiambo MO, 章永年, 丁为民. 2017. 稻麦精准变量施肥机排肥性能分析与试验. 农业机械学报, 48(7): 102–108]
- Tan YH, Shen JL, Jiang BS, Li QY, Li Y, Wu JS. 2018. The effects of straw incorporation and water management on nitrogen uptake and nitrogen use efficiency in a double rice cropping system. Research of Agricultural Modernization, 39(3): 511–519 (in Chinese) [谭亦杭, 沈健林, 蒋炳伸, 李巧云, 李勇, 吴金水. 2018. 秸秆还田与水分管理对双季水稻氮素吸收及氮肥利用率的影响. 农业现代化研究, 39(3): 511–519]
- Tao Y, Zheng ZT, Yu Y, Xu Jun, Liu XG, Wu XH, Dong FS, Zheng YQ. 2017. Supercritical fluid chromatography-tandem mass spectrometry-assisted methodology for rapid enantiomeric analysis of fenbuconazole and its chiral metabolites in fruits, vegetables, cereals, and soil. Food Chemistry, 241: 32–39
- Wang HD, Shi Y, Wang L, Liu S, Wu SW, Yang YH, Feyereisen R, Wu YD. 2018. *CYP6AE* gene cluster knockout in *Helicoverpa armigera* reveals role in detoxification of phytochemicals and insecticides. Nature Communications, 9: 4820
- Wang Y, Han M, Xiong ZY, Guo T. 2018. Influence of arbuscular mycorrhizal fungus on the antagonistic action of zinc and phosphorus in maize. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 24(1): 279–284 (in Chinese) [王岩, 韩苗, 熊子怡, 郭涛. 2018. 丛枝菌根真菌对玉米锌、磷拮抗作用的影响. 植物营养与肥料学报, 24(1): 279–284]
- Wei K, Sun T, Tian JH, Chen ZH, Chen LJ. 2018. Soil microbial biomass, phosphatase and their relationships with phosphorus turnover under mixed inorganic and organic nitrogen addition in a *Larix gmelinii* plantation. Forest Ecology and Management, 422: 313–322
- Wu SZ, Zhang HZ, Zheng KM, Meng BH, Wang F, Cui Y, Zeng S, Zhang KK, Hu DY. 2018. Simultaneous determination and method validation of difenoconazole, propiconazole and pyraclostrobin in pepper and soil by LC – MS/MS in field trial samples from three provinces, China. Biomedical Chromatography, 32(2): e4052
- Xia HL, Kang LC, Wang F, Ke QL, Pan XH, Zhou CH. 2018. The research status and prospect of *Astragalus sinicus* green manure in Jiangxi. Pratacultural Science, 35(11): 2711–2721 (in Chinese) [夏海林, 康丽春, 王飞, 柯清林, 潘晓华, 周春火. 2018. 江西绿肥紫云英的研究. 草业科学, 35(11): 2711–2721]
- Xia LL, Lam SK, Chen DL, Wang JY, Tang Q, Yan XY. 2017. Can knowledge-based N management produce more staple grain with lower greenhouse gas emission and reactive nitrogen pollution a meta-analysis. Global Change Biology, 23(5): 1917–1925
- Xu M, Yuan L, Li W, Li YT, Zhao BQ, Zhao LM. 2018. Effects of the compound amino acid fertilizer synergist on growth and nutrients use of cotton in Xinjiang. Soils and Fertilizers Sciences in China, (4): 87–92 (in Chinese) [许猛, 袁亮, 李伟, 李燕婷, 赵秉强, 赵来明. 2018. 氨基酸肥料增效剂对新疆棉花生长、产量和养分利用的影响. 中国土壤与肥料, (4): 87–92]
- Yin DW, Meng J, Shi GZ, Cao T, Chen Z, Zhou J, Zheng GP, Chen WF. 2018. Biochar as tool to improve physicochemical properties of Chinese albic soils. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 12(1): 102–108
- Yuan MM, Wu G, Hu R, Geng W, Wang JB, Cao ZW, Sun YX. 2018. Effects of straw returning plus fertilization on crop yield and fertilizer use efficiency in rice-rapeseed rotation system. Chinese Journal of Ecology, 37(12): 3597–3604 (in Chinese) [袁慢慢, 邬刚, 胡润, 耿维, 王家宝, 曹哲伟, 孙义祥. 2018. 稻油轮作下秸秆还田配施化肥对作物产量及肥料利用率的影响. 生态学杂志, 37(12): 3597–3604]
- Zhang J, Li XH, Li YT, Yuan L, Zhao BQ, Li W, Zhang SQ. 2018. Tail liquid from amino acid fermentation could improve the uptake and utilization of water soluble fertilizer nitrogen by cherry tomato. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 24(1): 114–121 (in Chinese) [张健, 李絮花, 李燕婷, 袁亮, 赵秉强, 李伟, 张水勤. 2018. 氨基酸发酵尾液可促进樱桃番茄对水溶肥料氮素的吸收利用. 植物营养与肥料学报, 24(1): 114–121]
- Zhang L, Feng G, Declerck S. 2018. Signal beyond nutrient, fructose, exuded by an arbuscular mycorrhizal fungus triggers phytate mineralization by a phosphate solubilizing bacterium. The ISME Journal, 12: 2339–2351
- Zhang PF, Zhang YF, Wang YF, Zhang WC, Chen TY, Pang C, Wu Q, Wang HP, Wu P, Yin XW, et al. 2018. Effects of nitrogen topdressing amount at various stages on nitrogen efficiency of maize and soil nitrogen balance under mulched drip irrigation. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 24(4): 915–926 (in Chinese) [张鹏飞, 张翼飞, 王玉凤, 张文超, 陈天宇, 庞晨, 吴琼, 王怀鹏, 武鹏, 尹雪巍, 等. 2018. 膜下滴灌氮肥分期追施量对玉米氮效率及土壤氮素平衡的影响. 植物营养与肥料学报, 24(4): 915–926]
- Zhou W, Ma YC, Well R, Wang H, Yan XY. 2018. Denitrification in shallow groundwater below different arable land systems in a high nitrogen-loading region. Journal of Geophysical Research Biogeosciences, 123(3): 991–1004
- Zhu HJ, Tian L, Zhang L, Bi JX, Song QQ, Yang H, Qiao JJ. 2018. Preparation, characterization and antioxidant activity of polysaccharide from spent *Lentinusedodes* substrate. International Journal of Biological Macromolecules, 112: 976–984
- Zhuang TF, Yang XJ, Dong X, Zhang T, Yan HR, Sun X. 2018. Research status and development trend of large self-propelled sprayer booms. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 49(S1): 189–198 (in Chinese) [庄腾飞, 杨学军, 董祥, 张铁, 严荷荣, 孙星. 2018. 大型自走式喷雾机喷杆研究现状及发展趋势分析. 农业机械学报, 49(S1): 189–198]

(责任编辑:王 璇)