

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22098

测土配方施肥项目十五年进展与展望

徐 洋^{1,3}, 杜 森¹, 钟永红¹, 薛彦东², 潘晓丽², 傅国海¹, 周 璇¹, 胡江鹏¹,
李 贝³, 闫 湘⁴, 沈德龙⁴, 张卫峰³, 张福锁³

(1. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2. 农业农村部种植业管理司, 北京 100125;
3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 4. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,
北京 100081)

摘 要: 为系统总结测土配方施肥对我国科学施肥工作的重要贡献, 对测土配方施肥项目实施 15 年的发展进程进行了归纳, 划分为启动扩大阶段 (2005 ~ 2009 年)、建制推进阶段 (2010 ~ 2014 年)、绿色发展阶段 (2015 ~ 2019 年)。利用国家测土配方施肥管理系统统计数据, 研究了项目在构建我国土壤及作物肥效基础数据库、推动土壤肥料技术普及和提升农民科学施肥水平等方面取得的成效。结果表明, 15 年来测土配方施肥项目累计采集土壤样品 2046.7 万个、植株样品 152.6 万个, 分析土壤样品 1833.9 万个、植株样品 129.9 万个, 开展小区试验 40.3 万个、大田示范 76.7 万个, 发布肥料配方 31.1 万个, 培训农民 3.26 亿人次, 化肥施用总量和单位面积化肥用量分别较峰值下降 10.3% 和 10.1%, 氮肥利用率提升 11.7 个百分点, 2019 年实现测土配方施肥推广面积 1.38 亿 hm^2 。测土配方施肥项目成效显著, 但在管理、技术等方面仍存在一些问題, 特别是在测试化验、推荐施肥指标体系、技术物化、高效施肥技术推广等方面仍有改进和提升的空间, 建议围绕农业绿色发展主线, 进一步夯实测土配方施肥基础性工作, 加强高效肥料品种和施肥技术的研发, 强化技术推广, 服务乡村振兴战略实施。

关键词: 测土配方施肥; 进展; 科学施肥; 技术推广; 绿色发展

肥料是作物的“粮食”, 是农业生产的基本要素, 是农产品产量和品质的物质基础, 也是资源高效利用和生态环境保护的关键因子。测土配方施肥在提升农民施肥水平^[1]、精准提供养分需求^[2]、促进农业可持续发展^[3]等方面发挥着重要的作用。目前, 对于该项目的研究大多是局部的、阶段性的^[4], 缺乏对项目时间脉络、发展轨迹的整体把握, 研究尺度集中在农户及县域等小范围^[5], 很少涉及国家尺度。本文重点梳理 2005 年以来, 测土配方施肥项目实施的外部背景、发展过程、重点任务和成效进展, 分析面临的主要问题, 提出政策建议。

1 项目起源与发展概况

测土配方施肥以养分归还学说、最小养分率、肥料效应报酬递减率等植物营养学经典原

理为依据, 通过土壤测试和肥料田间试验, 摸清作物需肥规律、土壤供肥能力和肥料施用效应, 在充分考虑有机肥料的基础上, 给出推荐施肥的品种、数量以及最佳的施肥时期和施用方法。

2005 年, 受国际金融危机导致的煤炭等原材料价格上涨的影响, 我国化肥产量出现波动下降, 价格大幅走高。尿素、磷酸二铵、氯化钾和复合肥价格分别从 2003 年的 1394、1762、1263 和 1163 元/t 上涨到 2005 年的 1915、2429、1822 和 1611 元/t, 涨幅分别达到 37.4%、37.9%、44.3% 和 38.5%^[6]。施肥过量与不足现象并存, 三大粮食作物氮肥过量和不足的比例超过三分之二; 肥料利用效率低下, 氮肥利用率仅有 30%。农业生产成本骤然增加, 不合理施肥的问题日渐突出, 农民收益出现下降, 在“提产量、降成本、增收益”的压力下, 开展测土配方施肥工作、提高农民科学施肥水平的需求空前强烈。

1.1 启动扩大阶段 (2005 ~ 2009 年)

2005 年 7 月, 为推广科学施肥技术, 促进农民节本增收, 原农业部印发《关于下达 2005 年测

收稿日期: 2022-03-01; 录用日期: 2022-05-20

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD1901605)。

作者简介: 徐洋 (1988-), 硕士, 高级农艺师, 主要从事科学施肥政策创设与技术推广工作, E-mail: xuyang2014@agri.gov.cn。

土配方施肥试点补贴资金项目实施方案的通知》，标志着国家测土配方施肥工程正式启动。这一阶段，测土配方施肥项目探索以试点形式推动科学施肥技术的普及，试点县的数量从 2005 年的 200 个逐步增加到 2009 年的 2498 个，实现了从无到有、由小到大、由试点到主要农业县“全覆盖”的历史性跨越。概括来看，该时期测土配方施肥项目的重点任务主要包括：(1) 开展测土配方施肥的基础性工作。取土化验，对项目县耕地土壤进行大规模取样测试，摸清基础地力状况；田间调查，对采样地块农户施肥、立地条件等情况进行调查，掌握农户施肥管理情况；试验示范，布设“3414”、肥料校正等试验，探索建立不同区域、不同作物的施肥指标体系；配方设计，以土壤测试和田间试验结果为依据，结合气候条件、土壤类型、作物品种、产量水平、耕作制度等因素，采取养分平衡、土壤养分丰缺指标、肥料效应函数、营养诊断等方法，制定推荐施肥配方和用量。(2) 建设测土配方施肥化验室。注重测土配方施肥化验室的建设，配备土壤采样和分析化验仪器设备、试剂药品，提高土壤全氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 值等指标的检测能力，截至 2009 年底，全国各县级以上行政区共建成测土配方施肥化验室 2000 多个，基本具备了土壤、植株样品分析化验的能力，初步完成了全国土壤肥料检测体系建设。(3) 建设测土配方施肥工作体系。注重测土配方施肥人才培养，以原有土壤肥料工作机构为基础，充实人员，整合力量，强化职能。狠抓农技推广体系测土配方施肥业务素质提升，开展多形式、多层次的专业培训，不断更新技术知识，提高土肥技术推广水平。政府与科研教学单位、生产企业、农民等主体沟通合作，建立大联合、大协作的工作机制，形成各方力量共同推进测土配方施肥工作的良好局面。

1.2 整建制推进阶段(2010 ~ 2014 年)

在 2009 年完成农业县全覆盖后，测土配方施肥项目的重心由“测土”和“配方”转移到了“施肥”上，目标是全面提高技术服务能力，标志着项目进入整建制推进阶段。这一阶段，国家出台农村土地“三权分置”政策，鼓励适度规模经营^[7]，农民生产积极性大幅提高。肥料产业进入调整期，产能过剩矛盾日益突出，企业利润开始下滑，肥料价格逐步走低^[8]。在追高产和低肥价的双

重影响下，农户化肥用量迅速增加，过量施肥现象开始显现^[9]，施肥的资源环境代价问题逐渐引起重视。2012 年，为更好服务“三农”发展，国家将强化基层公益性农技推广服务写入当年中央一号文件，此时测土配方施肥项目经过 5 年实践积累了大量的技术成果，具备了全面推广的基础，在内外因素共同作用下，解决技术推广“最后一公里”问题成为该时期项目发展的核心。这一阶段测土配方施肥重点任务主要包括：(1) 整建制推进项目实施。开展“百县千乡万村”整建制推进测土配方施肥行动，创建技术示范区，根据种植制度、土壤养分状况等因素，因地制宜探索“结构合理、总量控制、方式恰当、时期适宜”的施肥技术模式，安排肥效对比示范，展示测土配方施肥技术效果；组织技术培训，举办农民田间学校和现场观摩活动，全方位提高农技推广人员、基层肥料经销商、科技示范户和种植户的土壤肥料知识水平；开展技术指导服务，原农业部每年发布春秋两季科学施肥指导意见，修订并发布《测土配方施肥技术规范(2011 年修订版)》，指导农民科学用肥；示范县在关键农时季节，组织农技推广人员和科研教学单位专家开展巡回指导和现场技术服务，通过“坐堂门诊”、发放施肥建议卡等方式，普及测土配方施肥的知识。(2) 组织耕地地力评价。国家按照“试点启动、区域调查、全面开展”的总体设计，以测土配方施肥项目县为主体，利用取土化验数据，分批次开展县域尺度耕地地力调查与质量评价工作，逐步摸清了项目县耕地基础地力、土壤环境质量及养分状况，为制定县域施肥方案、指导科学施肥奠定了基础。(3) 推广使用配方肥。原农业部 2013 年公布了 38 个三大粮食作物“大配方”，示范县按照“大配方、小调整”的思路完善形成本地化的县域“小配方”，定期向社会发布；大力推动农企合作，采取市场化运作、工厂化加工、网络化经营的运作模式，引导大中型肥料企业利用发布的肥料配方生产、销售、推广配方肥，解决小农户科技素质低、技物分离的问题。(4) 探索测土配方施肥信息化服务。以田间调查、试验示范和分析化验数据为基础，综合运用计算机技术、地理信息系统(GIS)和全球卫星定位系统(GPS)等手段，建立涵盖地理定位、土壤肥力、农户施肥、肥效试验、作物养分等内容的测土配方施肥基础数据库。基于县域耕地的空间信息、土壤及植株分析化

验与肥效田间试验数据库,研发县域测土配方施肥专家系统,通过计算机、手机、智能配肥机、触摸屏等终端设备,将个性化施肥方案推广到千家万户。

1.3 绿色发展阶段(2015 ~ 2019 年)

2015 年 2 月,原农业部印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》,测土配方施肥项目作为实现化肥零增长、促进化肥减量增效的重要措施,继续发挥着基础性作用。这一阶段,我国种植业结构调整稳步推进,水果、蔬菜等经济作物种植面积不断扩大,全国农用化肥施用量首次超过了 6000 万 t^[10]。肥料产业供给侧结构性改革步伐加快,产能稳步下降,肥料产品的复合化、专用化程度不断提高^[11],新型肥料占比不断上升,为实现化肥减量提供了产品保障。2015 年,国家提出“五大发展理念”,大力推进农业绿色发展,为土壤肥料行业发展指明了方向。这一阶段测土配方施肥目标在“保产量、保收益”的基础上增加了“保生态”的内容,重点任务主要包括:(1)经济作物测土配方施肥。以蔬菜、果树为重点,建设经济作物测土配方施肥示范区,开展经济作物“2+X”肥效田间试验,逐步完善经济作物施肥指标体系,发布不同地区、不同作物肥料配方信息,形成主要经济作物优化施肥方案。推进增施有机肥,结合 2017 年启动的果菜茶有机肥替代化肥试点项目,支持农民积造农家肥,施用商品有机肥。(2)推进化肥减量增效。创建示范基地,每年遴选 300 个粮棉油生产大县,建设化肥减量增效示范区,集成创新、推广应用高效施肥技术模式;探索化肥定额施用,在确保粮食安全的前提下,综合土壤地力、作物需肥规律、目标产量、环境效益等因素,研究制定主要粮食作物氮肥定额用量,防止过量施肥,避免盲目减肥;开展肥料利用率试验,结合各地生产实际,布设主要粮食作物化肥利用率试验,每两年向社会发布全国三大粮食作物化肥利用率。(3)改进施肥方式。推广机械施肥,按照农机农艺融合、基肥追肥统筹的原则,聚焦粮食生产功能区,选择东北寒地水稻区、长江中下游单双季稻区、华南双季稻区推广水稻侧深施肥技术,北方春玉米区、黄淮海平原夏玉米区推广玉米种肥同播技术;推广水肥一体化,结合高效节水灌溉,示范推广滴灌、喷灌施肥技术,推进水肥一体下地,促进施肥与用水相协调。

2 进展与成效

2.1 基础性工作

2.1.1 取土化验

土壤养分供应能力、作物养分需求规律和肥料效应是制定推荐施肥方案的重要依据,自测土配方施肥项目实施以来,国家通过大范围开展土壤、植株采样分析,基本掌握了主要农作区土壤养分及作物营养状况,初步建成了测土配方施肥的数据库,为推动科学用肥奠定了坚实基础。15 年来,各地累计采集土壤样品 2046.7 万个,累计测试土壤样品 1833.9 万个,累计采集植株样品 152.6 万个,累计测试植株样品 129.9 万个,平均每个县级行政区累计测试土样品 6446 个、植株样品 456 个(图 1)。

2.1.2 试验示范

田间试验是获取施肥参数、科学评价施肥效果的可靠手段,大田示范则是展示推广施肥方案的有效方法^[12]。20 世纪 80 年代开始,围绕促进农民用肥、提高作物产量,农业科研、农技推广、肥料企业等单位陆续开展了一些区域性的田间试验及大田示范工作,但在土壤类型、种植制度、试验处理、结果分析等方面缺乏全国层面的统筹与规范。2005 年项目实施以来,依托各级土壤肥料技术推广体系力量,全国累计开展小区试验 40.3 万个、大田示范 76.7 万个(图 2),为研究最佳肥料品种、施肥时期、施用方式、肥料用量积累了大量一手资料,推动了施肥技术进步。

2.2 技术推广

2.2.1 发布肥料配方

全国各级农技推广体系依据辖区内土壤养分供应能力、作物需肥规律和肥效效应,按照“氮素总量控制、分期调控,磷素恒量监控,钾素肥效反应”的推荐施肥原则,制定并发布肥料配方。截止 2019 年,各级农业部门累计发布肥料配方 31.1 万个(图 3),基本覆盖了三大粮食作物和主要经济园艺作物种植区域,推进了施肥配比的合理化。

2.2.2 培训农民

农民培训是促进传统农业转型升级、提高农民种植水平,实现农业现代化的重要手段^[13]。项目实施以来,各级农技推广人员围绕普及测土配方施肥技术、提升农民土壤肥料知识水平,采取现场授课、田间观摩、参观考察、远程教学等形式,累计培训农民 3.26 亿人次(图 4),有效提升了农民的施肥管理水平。

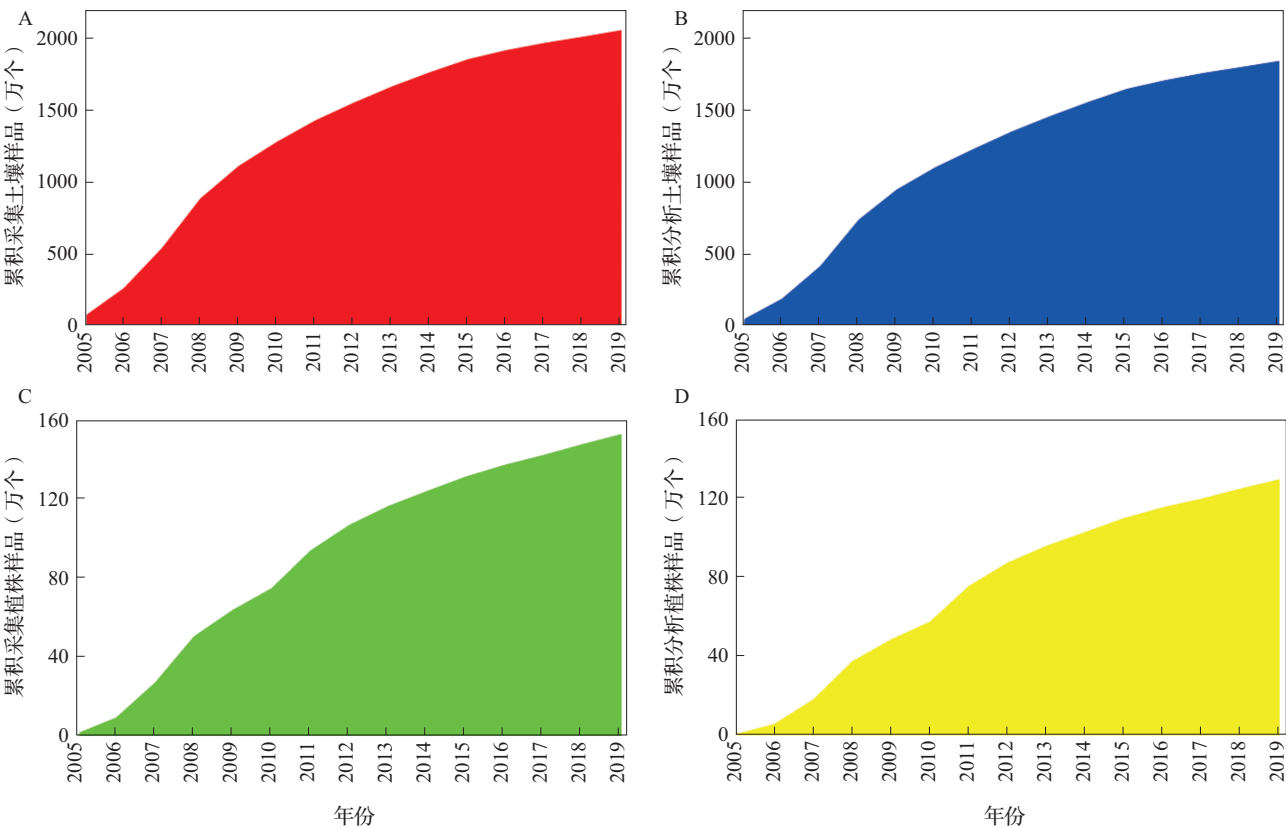


图 1 取土化验数量

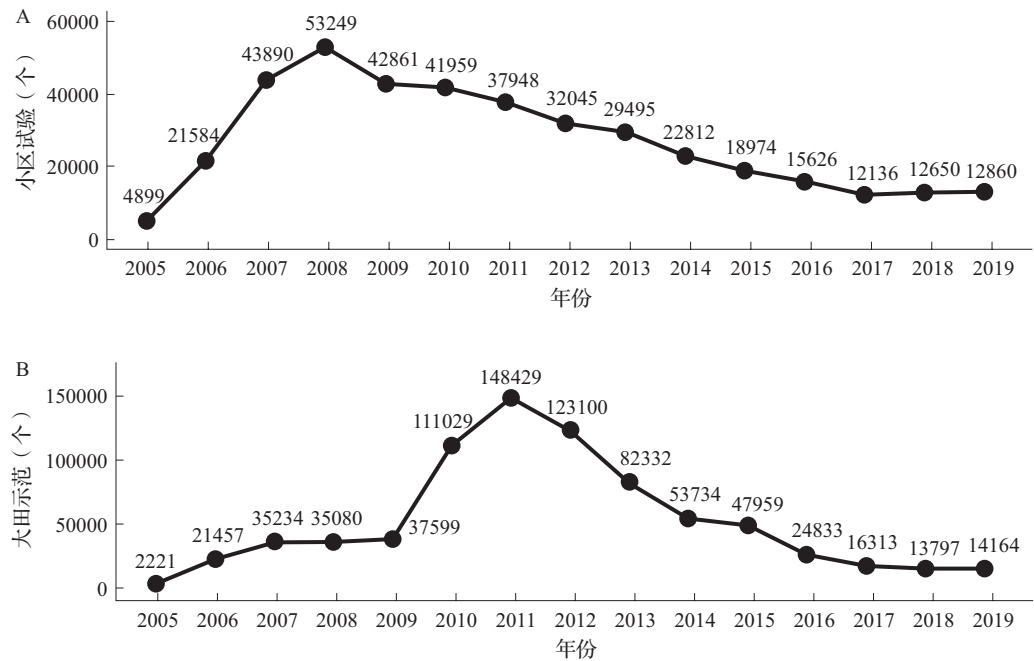


图 2 试验示范数量

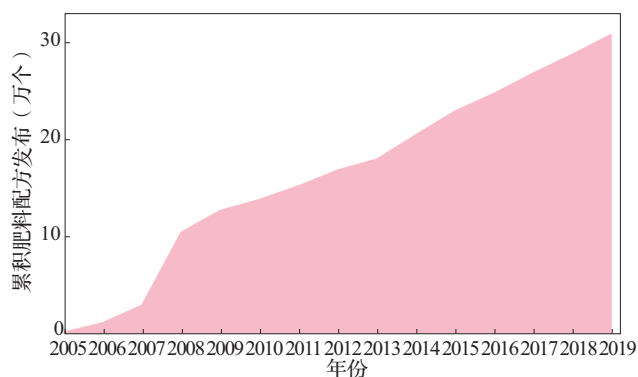


图3 肥料配方发布数量

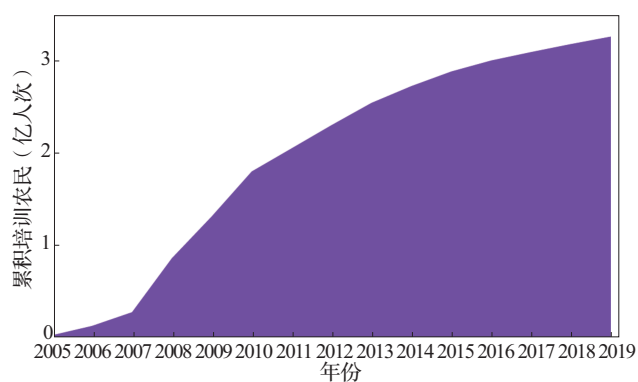


图4 农民培训数量

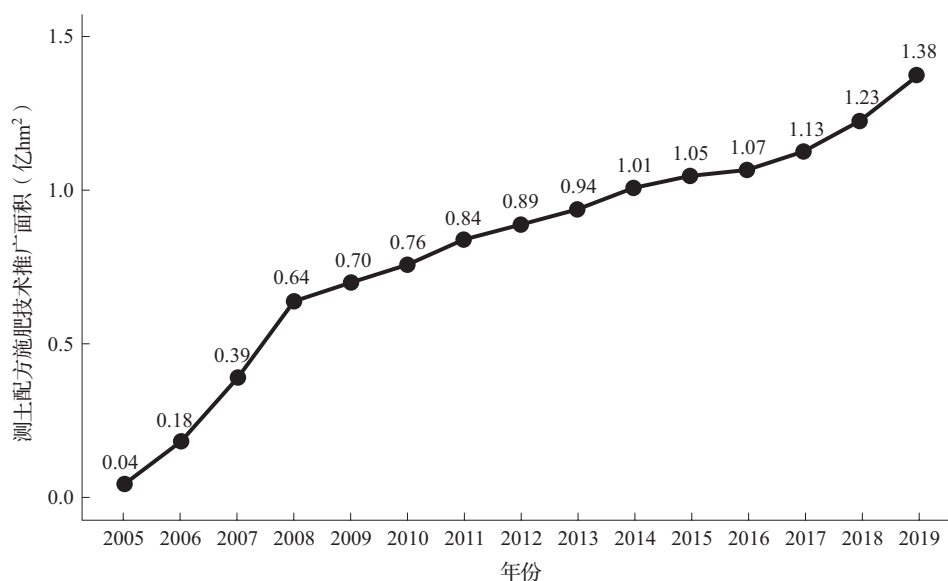


图5 技术推广面积

2.2.3 推广服务

通过宣传培训、示范展示等方式，在关键农时季节，组织土壤肥料科研教学专家和技术推广人员深入田间地头，采取进村入户、蹲点包片的形式，指导农民落实测土配方施肥各项技术措施。截止2019年，测土配方施肥技术推广面积已达到1.38亿 hm^2 （图5）。

2.3 施肥水平提升

2.3.1 化肥用量下降

化肥是现代农业高产的必要条件，也是支撑世界人口增长的基础^[14]，如何在保证粮食安全和重要农产品有效供给的前提下逐步减少不合理的化肥用量是提升我国施肥管理水平的重要指标。根据《中国统计年鉴》等资料显示，2005年，我国农用化肥施用总量4766.2万t，随后逐年增加，在2015年达到6022.6万t的顶点后开始下降，至2019年回落到5403.6万t，相当于2009年的用肥水平。与化肥施用总量的趋势相似，我国单位面积化肥用量的峰值出现在2014年，达到了 $362.4\text{ kg}/\text{hm}^2$ ，至2019年回落至 $325.7\text{ kg}/\text{hm}^2$ （图6）。这一时期，测土配方施肥项目经历了规模扩大和整建制推进两个阶段，技术综合覆盖率达到68%^[8]，土壤肥料基础服务体系的加强促进了化肥用量的整体下降，农民用肥日趋合理。

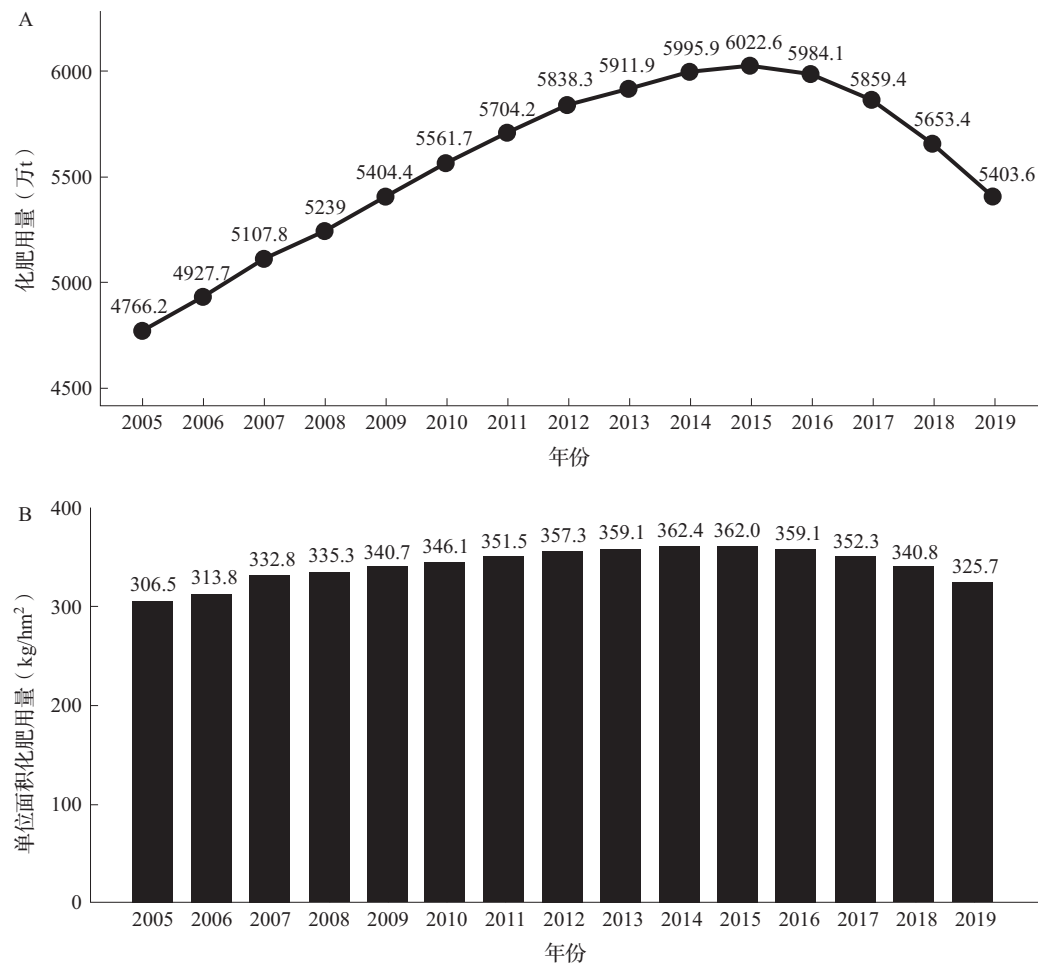


图6 2005 ~ 2019 年化肥总用量及单位面积化肥用量情况

2.3.2 化肥利用率提高

化肥利用率是表征施肥管理水平的重要指标，其中氮肥利用率最为关键。2001 ~ 2005 年，全国农业技术推广服务中心和中国农业大学植物营养系联合开展肥效田间试验，发现三大粮食作物氮肥利用率仅为 27%^[15]。2006 ~ 2010 年，王桂良^[16]在综合文献数据和多年多点田间试验结果的基础上，总结出三大粮食作物氮肥利用率平均为 34%。自 2013 年起，原农业部通过测土配方施肥项目在全国布设的田间试验，制定测算规范，每两年向社会发布一次化肥利用率（以氮肥利用率表征），2013、2015、2017、2019 年分别为 33.0%、35.2%、37.8%、39.2%（表 1）。自 2005 年测土配方施肥项目实施以来，我国氮肥利用率由 27% 增加至 39.2%，提升了 48.2%，这其中的原因是多方面的，但测土配方施肥在提升作物产量、减少化肥用量、转变施肥方式、促进肥料产品升级等方面发挥的作用毋庸置疑。

表 1 我国三大粮食作物氮肥利用率的演变

年份	氮肥利用率 (%)	数据来源
2001 ~ 2005	27.5	张福锁等 ^[15]
2006 ~ 2010	34.0	王桂良 ^[16]
2013	33.0	原农业部 ^[17]
2015	35.2	原农业部 ^[18]
2017	37.8	原农业部 ^[19]
2019	39.2	农业农村部 ^[20]

注：2018 年农业部更名为农业农村部。

2.3.3 肥料产品丰富

肥料是粮食的“粮食”，科学施肥的进步离不开高效的肥料产品^[21]。自 2005 年测土配方施肥项目实施以来，国家通过发布肥料大配方等方式，引导企业改进和优化肥料产品结构，提高肥料品种与土壤、作物、生产方式的匹配度，肥料产品种类得到了极大丰富。根据农业农村部及各省肥料登记信息显示，截止 2019 年 12 月，全国在有效期内的肥

料登记产品有 84750 个, 较 2008 和 2013 年分别增长 131.9% 和 26.2%。与 2008 年相比, 掺混肥料增长 485.7%, 复混肥料增长 16.1%, 有机肥料增长 109.6%, 农民可选择的肥料产品种类不断丰富, 有效促进了科学施肥水平的提升 (表 2)。

表 2 2008 ~ 2019 年有效期内
肥料登记产品对比 (个)

肥料品种	2008 年	2013 年	2019 年
肥料登记总量	36544	67180	84750
掺混肥料	4511	20346	26420
复混肥料	24222	32942	28132
有机肥料	3137	5890	6575
有机-无机复混肥	1632	3225	3172
生物有机肥	194	449	2038
微生物菌剂	531	1321	4686
水溶肥料	1304	1483	13514

注: 2008、2013 和 2019 年数据来源于全国 32 个省级农业农村部门上报和国家化肥质量监督检验中心。

3 主要问题

3.1 基层化验室运转困难

自 2005 年项目启动以来, 各示范县均建立了测土配方施肥化验室, 然而, 经过十余年时间, 一部分县级化验室已停止运行。这其中的原因, 一是长期缺乏充足的运转资金和专业的分析化验人才; 二是仪器设备陈旧老化, 难以满足大批量分析化验任务的需求^[22]; 三是测试化验市场化进程加速, 第三方专业测试分析机构大量涌现, 竞争更加激烈, 多重因素叠加致使许多基层化验室正面临着运行困难的局面。

3.2 配方肥下地存在堵点

“测、配、产、供、施”五大关键环节中, “产”和“供”是相对薄弱的部分, 受信息获取渠道和生产成本等因素的影响, 推荐施肥配方转化为肥料企业生产的配方肥产品比例不高。配方肥供应链条长, 大部分产品仍要通过多级经销商到达农民手中, 增加了用肥成本。小农户科学施肥水平不高, 配方肥在使用过程中存在地域、作物不匹配的问题^[8]。

3.3 推荐施肥指标体系有待更新

目前, 测土配方施肥推荐施肥指标体系主要还是以增产增收为目标, 通过布设肥料用量梯度试

验, 构建肥料效应函数, 研究不同施肥水平下的作物产量、经济效益、肥料利用率等指标, 确定作物最高产量施肥量和经济最佳施肥量, 形成推荐施肥方案^[23]。但是, 近年来过量施肥造成的面源污染问题日益严重, 不合理施肥对生态环境的潜在风险不可忽视, 测土配方施肥推荐施肥指标需要据此及时更新和调整。

3.4 技术推广力度仍需加强

项目经过十余年实施, 测土配方施肥的知名度和覆盖率大幅提升, 但农民思想认识的转变是一个长期的过程, 施肥投入距离科学合理还有不小差距, 单位面积化肥投入量大、肥料利用率低等问题依然存在^[24]。另外, 我国小农户数量庞大, 基层农技人员数量相对不足, 有土壤肥料专业背景的更少, 对于科学施肥的认识不够全面, 加之工作量大、难度高等因素, 导致技术推广效果欠佳^[21]。

4 对策建议

4.1 夯实测土配方施肥基础性工作

以更好发挥测土配方施肥公益性作用为目标, 不断提高田间调查、取土化验、田间试验等基础性工作质量。合理布设调查采样点位, 规范采集分析土壤样品, 强化质量控制, 确保取土化验数据质量。重视肥效田间试验工作, 结合各地种植制度和土壤障碍因素, 统筹安排主要粮食作物化肥利用率试验、经济作物“2+X”试验、肥效校正试验以及中微量元素单因子肥效试验等工作, 结合农作物品种、病虫害防治、田间栽培管理等信息, 逐步完善大宗作物种植技术方案, 服务农民科学种田。

4.2 完善肥料配方制定与发布机制

肥料配方是测土配方施肥的核心成果, 也是影响配方肥效果的关键因素。建议系统整理全国测土配方施肥分析化验、田间试验数据, 完善测土配方施肥基础数据库, 探索国家、省、市、县四级数据管理模式, 提升服务肥料配方制定和农业生产决策能力。发挥好科研、教学、推广各领域专家力量, 综合选取肥料效应函数法、土壤养分丰缺指标法、养分平衡法等方法确定施肥配方和肥料用量^[25], 开展肥料配方校正试验, 提高配方制定的科学性和适用性。定期对肥料配方进行汇总、提炼和审定, 对不同地区、不同作物相近的配方进行归类合并,

不断完善区域“大配方”和县域“小配方”。各级农业农村部门还应通过官方途径定期向社会发布本辖区内主要农作物的肥料配方、适用区域和配方肥需求数量等信息,引导肥料企业按“方”生产供应,农民照“方”购买施用。

4.3 构建多目标推荐施肥指标体系

2015年,联合国发布了2015~2030年全球可持续发展目标,从社会、经济和环境等领域提出了17项具体发展目标^[26]。近年来,我国提出构建人类命运共同体理念,高度重视绿色发展,这与联合国提出的可持续发展目标不谋而合,为响应有关政策倡议,同年,国家出台了《全国农业可持续发展规划(2015~2030年)》等文件来落实联合国新15年发展目标^[27]。在农业领域,推进绿色高质量发展已经成为了主旋律,研究表明,肥料施用在提升粮食产量、促进经济发展、改善农产品品质、保护生态环境等方面都发挥着重要作用^[28],建议不断完善测土配方施肥推荐的施肥指标体系,制定协调生产、生态、经济、健康等多目标的肥料定额施用方案,助力碳达峰、碳中和的国家目标,以推动实现可持续发展。

4.4 强化肥料技术推广应用

农技推广是发展现代农业的重要支撑,建立健全农技推广服务体系是推进现代农业发展的基础工程和必由之路。多年来,我国在实践中逐渐形成了“一主多元”的农技推广服务体系^[29],要大力扶持农业社会化服务组织发展,围绕农业综合效益和农产品品质提升双重目标,鼓励开展施肥全过程服务、托管式服务、专业化服务,提供作物专用肥套餐制配送、植物营养全程化方案。丰富技术推广手段,探索信息化、数字化、智能化科学施肥服务模式^[30],顺应现代农业集约绿色、节本增效的发展方向。树立以人为本的服务宗旨,研究影响农民应用测土配方施肥技术的限制性因素,深入挖掘其内在的逻辑关系,以农民认不认识、技术采不采纳、效果明不明显作为衡量标准,因地制宜探索建立不同地区肥料技术推广模式,促进化肥减量增效和农民增产增收,以助力农业绿色高质量发展。

参考文献:

- [1] 付浩然,李婷玉,曹寒冰,等.我国化肥减量增效的驱动因素探究[J].植物营养与肥料学报,2020,26(3):561-580.
- [2] 李红莉,张卫峰,张福锁,等.中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1136-1143.
- [3] 孙钊.测土配方施肥项目的发展现状与对策[J].现代农业科技,2009(15):290-291.
- [4] 李琪.水稻化肥农药减量增效技术推广路径分析[D].杭州:浙江大学,2019.
- [5] 李莎莎,朱一鸣.测土配方施肥技术推广服务:模式、评价及启示[J].农业部管理干部学院学报,2018,30(1):36-40.
- [6] 张卫峰,张福锁.中国肥料发展研究报告2012[M].北京:中国农业大学出版社,2013:125-129.
- [7] 韩宁.中华人民共和国成立以来农村土地经营政策演进研究[J].重庆理工大学学报(社会科学版),2020,34(3):64-80.
- [8] 张卫峰,易俊杰,张福锁,等.中国肥料发展研究报告2016[M].北京:中国农业大学出版社,2017.
- [9] 孟远夺,许发辉,杨帆,等.我国种植业化肥施用现状与节肥潜力分析[J].磷肥与复肥,2015,9(30):1-4.
- [10] 中华人民共和国农业部.中国农业统计资料[M].北京:中国农业出版社,2016.
- [11] 崔学军,陈宏坤.化肥供给侧结构性改革调研报告(2017年)[M].北京:化学工业出版社,2018.
- [12] 全国农业技术推广服务中心.肥料田间试验指南[M].北京:中国农业出版社,2018.
- [13] 王雨林,项杰,刘胜林.农民参与政府组织的农业技术培训的供求影响因素研究[J].中国农学通报,2020,36(5):144-151.
- [14] Connor D J. Organic agriculture cannot feed the world[J]. Field Crops Research, 2008, 106: 187-190.
- [15] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [16] 王桂良.中国三大粮食作物农田活性氮损失与氮肥利用率的定量分析[D].北京:中国农业大学,2014.
- [17] 中华人民共和国农业部.科学施肥促进肥料利用率稳步提高我国肥料利用率达33%[Z/OL]. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201310/t20131010_3625203.htm.
- [18] 中华人民共和国农业部.农业转方式取得积极进展 化肥农药利用率稳步提高[Z/OL]. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201512/t20151203_4922342.htm.
- [19] 中华人民共和国农业部.化肥农药利用率稳步提高 提前三年实现零增长目标[Z/OL]. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201712/t20171227_6128571.htm.
- [20] 中华人民共和国农业农村部.化肥农药利用率稳步提高[Z/OL]. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201912/t20191218_6333443.htm.
- [21] 孙生阳,孙艺奇,胡瑞法,等.中国农技推广体系的现状、问题及政策研究[J].中国软科学,2018(6):25-34.
- [22] 郑磊,李荣,任意.我国土肥检测体系发展现状及耕地质量评价技术支撑能力分析报告[J].中国农技推广,2017,33(1):10-13.

- [23] 陈新平, 张福锁. 通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系[J]. 中国农技推广, 2006 (4): 36-39.
- [24] 徐洋, 杨帆, 张卫峰, 等. 2014-2016年我国种植业化肥施用状况及问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (1): 11-21.
- [25] 张福锁. 测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2017.
- [26] Fu B J, Wang S, Zhang J Z, et al. Unravelling the complexity in achieving the 17 sustainable-development goals [J]. National Science Review, 2019 (3): 3.
- [27] 魏彦强, 李新, 高峰, 等. 联合国 2030 年可持续发展目标框架及中国应对策略[J]. 地球科学进展, 2018, 33 (10): 94-103.
- [28] Zhang F S, Cui Z, Zhang W F. Managing nutrient for both food security and environmental sustainability in China: an experiment for the world [J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2014, 1 (1): 53-61.
- [29] 刘天金. 中国农技推广(种植业)改革发展 40 年回顾与展望[J]. 中国农技推广, 2019, 35 (1): 3-8.
- [30] 李增源, 刘家欢, 徐洋, 等. 农化服务信息化的现状及问题探讨[J]. 中国农业信息, 2018, 30 (4): 64-76.

Progress and prospects for the project of formula fertilization by soil testing in the last 15 years

XU Yang^{1, 3}, DU Sen¹, ZHONG Yong-hong¹, XUE Yan-dong², PAN Xiao-li², FU Guo-hai¹, ZHOU Xuan¹, HU Jiang-peng¹, LI Bei³, YAN Xiang⁴, SHEN De-long⁴, ZHANG Wei-feng³, ZHANG Fu-suo³ (1. National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125; 2. Planting Management Department of Ministry of Agriculture and Rural Areas of China, Beijing 100125; 3. College of Resources and Environmental Sciences China Agricultural University, Beijing 100094; 4. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In the past 15 years, Chinese farmers have made great progress in scientific fertilization due to the contribution of formula fertilization by soil testing. The purpose of this paper is to summarize the results of the project in building the basic database of soil and crop fertilizer efficiency, promoting the popularization of fertilizer technology, and improving the level of scientific fertilization of farmers. The project is divided into three phases including Scale expansion phase (2005 ~ 2009), Integral construction promotion phase (2010 ~ 2014), and Green development phase (2015 ~ 2019). To summarize progress, the data collected from national formula fertilization by soil testing management system were used. The research we have done suggests that in the past 15 years, the project has collected 20.467 million soil samples, 1.526 million plant samples, analyzed 18.339 million soil samples, 1.299 million plant samples, conducted 403000 experiments, 767000 field demonstrations, released 311000 fertilizer formulas, and trained 326 million farmers. In 2019, the amount of fertilizer application for the country and per hectare decreased by 10.3% and 10.1% from the peak, respectively, the nitrogen use efficiency increased by 11.7 percentage point, and the area covered by soil testing and formula fertilization technology reached 138 million hectares. The achievements of the project were obviously, however, there were some problems in management and technology. It is recommended to focus on the agricultural green development, consolidate the basic work of formula fertilization by soil testing, strengthen the promotion of fertilizer technology, and serve the implementation of the rural revitalization strategy.

Key words: formula fertilization by soil testing; progress; scientific fertilization; promotion of technology; green development