

# 我国农田投入品减量增效技术研究进展

刘文<sup>1,2</sup>, 范培清<sup>3</sup>, 孔庆霞<sup>3</sup>, 郝莹<sup>1</sup>, 陈品颖<sup>1</sup>, 雷海波<sup>1</sup>

(1. 天津农学院基础科学学院, 天津 300384; 2. 天津城乡产业融合实验室, 天津 300384;  
3. 天津农学院水产学院, 天津 300384)

**摘要:** 我国耕地面积巨大, 农业生产中需要使用大量的化肥、农药、地膜等农业投入品。在乡村振兴背景下应用农田投入品减量增效技术不仅蕴藏着巨大的经济效益, 也是实现高效生态农业的重要保障。通过查阅大量的文献资料全面系统分析了我国农田投入品如化肥、缓控释肥、水肥缓释材料、种子包衣剂、农药、地膜等产品的减量增效技术的研究现状, 从技术、经济可行性等方面提出了今后我国农田投入品减量增效研究的方向。

**关键词:** 农田投入品; 减量增效; 化肥; 农药; 地膜; 研究进展

中图分类号: S-01 文献标志码: A 文章编号: 2097-2172(2023)01-0013-04

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.01.003

## Advances on the Technologies of Inputs Reduction and Efficiency Improvement in Crop Production in China

LIU Wen<sup>1,2</sup>, FAN Peiqing<sup>3</sup>, KONG Qingxia<sup>3</sup>, HAO Ying<sup>1</sup>, CHEN Pinying<sup>1</sup>, LEI Haibo<sup>1</sup>

(1. College of Basic Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Urban-Rural Industry Convergence Laboratory, Tianjin 300384, China; 3. College of Fishery, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** The arable land area is huge in China, thus a large quantity of production inputs such as chemical fertilizers, pesticides and plastic mulching are needed in crop production. In the background of the rural revitalization, research of the technologies of reducing quantity and increasing efficiency of crop production inputs not only contains huge economic benefits, but also is an important guarantee to realize efficient ecological agriculture. This paper overall analyzed the current situation of our country crop production inputs development through the chemical fertilizers, slow/controlled release fertilizers, slow released materials, seed coating agent, pesticides and plastic film products, and put forward some suggestions on developing Chinese crop inputs reduction efficiency improvement from the technical and economic feasibility, which provides references for the related departments for decision making.

**Key words:** Crop production input; Reducing quantity and increasing efficiency; Chemical fertilizer; Pesticide; Mulch film; Research advance

在全面完成脱贫攻坚任务的基础上, 如何以乡村振兴战略为契机, 走质量兴农之路, 走乡村绿色发展之路, 实现高质量发展成为一个值得思考的问题。因此, 深入研究农作物投入品减量增效问题, 加快推进农产品质量升级, 研发高效农业投入品, 构建农业绿色循环产业链将成为今后努力的方向。

在充分利用现有土地、水等资源条件下, 进一步提高效益不仅需要研究农作物种子、动物品种等生物技术, 也要充分重视肥料、农药、地膜、

新材料等农业投入品的研发和应用, 特别是农业生产高质量发展还要考虑节水、环保、食品安全等因素时, 农业投入品减量增效的意义更加凸显。中国经济年报显示, 2020年全国粮食总产量6.70亿t, 比上年增加0.06亿t, 增幅为0.9%, 粮食产量再创新高, 连续6年保持在6.50亿t以上。全国粮食播种面积1.168亿hm<sup>2</sup>, 比上年增加66.7万hm<sup>2</sup>, 增幅为0.6%。以上数据显示全国粮食产量增幅明显高于播种面积增幅, 说明我国种植业领域

收稿日期: 2022-04-13; 修订日期: 2022-11-30

基金项目: 天津市技术创新引导专项(20YDTPJC01070); 天津农学院研究生教育教学研究与改革项目(2021-YB-025); 天津市教委科研计划项目(2021KJ113); 枣庄市自主创新及成果转化计划项目(2022GH20)。

作者简介: 刘文(1982—), 男, 山东滕州人, 高级工程师, 博士, 研究方向为农业新材料和环保技术研发。Email: liuwen@tjau.edu.cn。

通信作者: 雷海波(1982—), 女, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 博士, 研究方向为生物新材料和缓释肥料。Email: leihb123@126.com。

农业投入品减量增效正在产生效果。不仅如此,随着人们对食品安全、生态环境保护的日益重视,对于种植业中化肥、种子包衣剂、农药等农业投入品减量增效技术的需求日益迫切。更进一步,基于我国每年接近 1.200 亿  $\text{hm}^2$  耕地的粮食播种面积,持续深入研究种植业农业投入品减量增效技术,对于不断提高经济效益,特别是环境效益具有十分重要的意义。现对我国农田投入品如化肥、缓控释肥、水肥缓释材料、种子包衣剂、农药、地膜等产品的减量增效技术研究的现状进行了全面系统分析,并从技术、经济可行性等方面提出了今后我国农田投入品减量增效的研究方向,以期相关部门进行决策提供参考。

### 1 肥料减量增效技术

目前我国农作物生产中肥料施用的主体仍然是氮肥、磷肥、钾肥等无机化学肥料,施用面积占种植业总面积的约 67%,我国化学肥料年产量在 5 400 万 t 左右,因此化肥减量增效技术潜力巨大,对于降低成本,实现乡村振兴战略具有重要作用。

对科学施肥技术的研究主要聚焦于测土配方施肥、水肥一体化、科学深施等方面,研究内容主要基于加强对耕地土壤成分、土壤结构性质分析,对不同农作物不同成长阶段所需肥料种类和用量的特点、水肥协同作用规律特点等利用现代分析技术和方法进行全、全周期深入梳理,然后利用所获得的数据,有针对性的根据土壤性质、农作物种类、生长阶段等研发配方肥、专用肥,并制定相对应的易于操作的施肥方式,可大大提高肥料利用率,达到减量增效的目的。

目前不少学者的相关研究已经取得了一定的成果。陆若辉等<sup>[1]</sup>从深化测土配方施肥、根据土壤成分综合施肥、推进有机养分替代、加大配方肥使用、建设减量示范区、创新耕作制度等方面提出了自己的建议,认为上述措施应有相应的政策引导和调动种植业从业人员的积极性来实现;郭永生<sup>[2]</sup>同样认为,对化肥的减量增效需要从测土配方、协调营养、适期施肥、培肥土壤等方面深入探索;王启等<sup>[3]</sup>则分析了化肥、农药、农膜等农业投入品的时空分布特征,发现其影响因素包括种植便利度、城镇化率、种植结构,并提出了因地制宜优化种植结构、发展循环农业、适度经营管理、对农户统一指导管理等建议。

我国在化学肥料减量增效技术推广方面成效显著。目前我国农业生产中配方肥施用量已占水稻、小麦、玉米三大粮食作物施肥总量的 60%以上,机械深耕施肥超过 4 666.7 万  $\text{hm}^2$ (次),水肥一体化 933.3 万  $\text{hm}^2$ (次)。2020 年我国水稻、小麦、玉米三大粮食作物化肥利用率为 40.2%,比 2015 年提高 5.0 个百分点。虽然目前和世界农业发达国家化肥利用率 50%~60%的水平尚有一定差距,但相信在未来的 5~10 a 内会达到这一目标。

### 2 新型缓控释肥料

新型缓控释肥可以实现种肥同播,相对于传统无机化学肥料,能通过改变施肥技术来提高肥料利用率。缓控释肥基于肥料的分子成分及结构设计来实现减量增效,未来具有光明的应用前景。

水合磷酸镁铵缓释肥是一种从海水中获得的非盐氧化矿物肥料。秦玉川等<sup>[4]</sup>将其应用于旱稻生产的研究发现,缓释肥的施用相对于传统肥料均能提高水稻根系活力和叶绿素含量,增加有效穗数,水稻增产可达 7.8%。丁志磊等<sup>[5]</sup>在桃树与大豆间作农田中进行了缓释肥施用试验,结果表明缓释肥相比于普通复合肥可以显著降低氮、磷的流失率 30%左右,这不仅可以提高肥料利用率,还减轻了肥料流失可能对地表水体造成的污染压力。谢培才等<sup>[6]</sup>通过施用包膜缓释肥试验证明,相对于普通复合肥,包膜缓释肥施用于玉米和小麦时均能使氮、磷、钾的利用率得到有效提升,其中氮的利用率分别平均提高了 5.04%、9.14%,磷的利用率分别平均提高了 11.22%、17.52%,钾的利用率分别平均提高了 11.26%、8.35%。在推广应用方面,农业农村部也在积极推动此项工作。2018 年扩大了果菜茶有机肥替代化肥行动试点范围,选择 100 个果菜茶生产县市成建制推进试点。

缓控释肥虽然在施用、肥效利用率等方面具有优势,但目前最关键的问题是成本。成本因素也是各种新型农业投入品在设计之初研发人员需要首要考虑的问题之一。目前传统化肥尿素的价格在 2 000 元/t 左右,通常缓控释肥的价格则为 3 000~5 000 元/t,而聚合物包膜缓释肥料价格更高,可达传统肥料的 3~8 倍。化肥作为用量较多的农业生产消耗性材料,根据农作物不同每季施用量可达 150~750  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。以每年播种夏粮和秋粮两季主粮计,平均肥料成本约 600~3 000 元/ $\text{hm}^2$ ,平均主粮产

量 15 000 kg/hm<sup>2</sup> 左右, 产值约 30 000 元 /hm<sup>2</sup>。基于农业生产对成本的高敏感性, 成本的高昂是缓控释肥推广应用需要首先考虑的因素。在此情况下, 如何充分利用现有成果, 通过改进配方、优化生产工艺、合理确定产能等手段实现缓控释肥、包膜材料等重点突破, 大幅降低缓控释肥生产成本, 提高其推广使用的经济可行性至关重要。

另一方面, 制约缓控释肥普及应用的适用性因素也不可忽视。我国幅员辽阔, 气候类型差异较大, 土地土壤性质也不尽相同。不同地域的土壤在结构、组成、微量元素含量、pH 以及所处的温度、湿度等环境因素方面都明显不同, 即使在相同土壤条件下播种不同农作物时, 施用缓控释肥也会对植物生长产生不同的效果。梳理上述影响因素并结合有关试验数据, 根据土壤性质和农作物需求科学分类, 开发适用性更强的专门配方缓控释肥, 不仅能提高农作物肥料利用率, 还可促进农作物增产, 真正实现减量增效的目标。因此, 专肥专用、科学施肥是缓控释肥发展的未来趋势。

### 3 新型水肥缓释材料

高分子水肥缓释材料实质上是一类具有高吸水性、多孔等物理化学性质的材料, 它不仅可以起到吸水保水的作用, 还可以减缓化肥养分释放的速率。在干燥的环境中, 所吸收的数百倍于自身重量的水分可缓慢释放。

邓小婵等<sup>[7]</sup>以腐殖酸为基础, 通过与丙烯酸进行聚合反应等手段得到有机 / 无机复合缓释材料。试验证明, 应用于农作物种植时, 其养分释放相较于传统肥料而言缓释效果明显, 直到第 28 天其养分释放量还未超过 75%。曹兵等<sup>[8]</sup>制备了聚丙烯酰胺 / 丙烯酰胺 / SiO<sub>2</sub> 复合材料, 试验表明 SiO<sub>2</sub> 的存在可以明显改善有机高分子吸水保水材料的交联密度, 并在使用 25 d 后土壤持水率和保水率分别提高了 25.5% 和 47.2%, 肥料释放期提高了 20%。王富等<sup>[9]</sup>将聚丙烯酰胺 (Polyacrylamide, PAM) 和高吸水性树脂 (Super Absorption Resin, SAR) 共同施用于旱作耕地, 结果表明, 联合施用后可以提高 0 ~ 40 cm 土层的土壤含水量, 且土壤含水量与施用量存在正相关, 整体水分利用率提高了 29.54%。

目前, 此类水肥缓释材料在推广应用方面还存在一些问题。一是人工合成的高吸水性材料性能较好, 但成本较高; 另外, 高吸水性材料直接

应用可能还存在由于材料本身无法完全降解而残留于土壤中等情形; 最后, 在工业化放大生产方面存在一定的技术难度。尽管如此, 需要对现有水肥缓释材料合成技术进行优化研究, 比如可在合成原料中加入天然生物基材料如植物秸秆、淀粉, 或者添加无机多孔材料如高岭土、膨润土, 在合成方式上应研究反相聚合工艺避免产品爆聚成团实现粒径可控等, 实现提升材料的可生物降解性能、提高吸水保水效果、降低成本、易于工厂化生产等目标, 这在相当程度上可使成本高、土壤残留及生产技术难度等问题得到解决。

### 4 农药减量增效技术

目前, 农业生产的绿色发展、食品安全等问题越来越被提到更重要的位置。易军等<sup>[10]</sup>研究了化学农药减量下不同栽培管理措施对水稻田间病虫害发生及水稻干物质生产及产量的影响, 结果发现, 通过深耕、带药移栽或喷施植物激活蛋白等病虫害防治方式, 能有效减少水稻的化学农药用量, 实现水稻稳产增效; 张舒等<sup>[11]</sup>研究了不同化肥农药减施组合对水稻主要病虫害发生及产量的影响, 证明生物农药替代和绿色助剂替代均可作为化学农药减量的技术措施。

2020 年我国绿色防控面积近 6 666.7 万 hm<sup>2</sup>, 主要农作物病虫害绿色防控覆盖率为 41.5%, 比 2015 年提高 18.5 个百分点。全国专业化统防统治服务组织达到 93 000 个, 三大粮食作物病虫害统防统治覆盖率达到 41.9%, 比 2015 年提高 8.9 个百分点, 农药减量增效成果显著。

### 5 地膜减量增效技术

随着农作物种植面积的扩大以及使用年限的增长, 塑料类废旧地膜会强度降低, 非常容易变脆破碎, 回收困难, 形成废旧垃圾。地膜不仅对土壤结构和成分造成污染, 还会严重改变土壤结构, 影响作物对水分和肥料的吸收利用, 导致减产和农产品品质降低, 严重影响农业可持续发展和高质量发展。

地膜利用领域的减量增效主要聚焦于开发新型栽培技术减少地膜用量、合理安排农作物轮种提高地膜使用效率、使用可降解塑料作为地膜材料等方面。王知跃等<sup>[12]</sup>研究了玉米地膜覆盖栽培不同地膜覆盖方式和种植方法对耕层土壤环境变化和玉米产量、产值的影响, 发现采用起墒半膜



覆盖膜侧种植方式与传统平墒全覆盖膜下种植相比用膜量减少 50%，废旧地膜残留量降低 28%，纯收益增加 143.1 ~ 340.5 元/hm<sup>2</sup>。陈志国等<sup>[13]</sup>则认为塑料地膜一膜两年用改种其他作物也是一种可行的方式。姬月娥<sup>[14]</sup>也对通过玉米栽种技术创新实现地膜减量增效提供了有益建议。

在使用可降解塑料方面，国家层面于 2020 年出台了新一轮禁塑令，对塑料制品的使用限制越来越严格。在此背景下，可降解塑料作为替代品，必然有着巨大的市场需求。可降解塑料主要有聚乳酸、聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯、聚羟基烷酸酯、聚己内酯、聚丁二酸丁二醇酯等。综合成本及性能考量，聚乳酸、聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯市场规模最大，发展潜力最好。可降解塑料是一个新兴化工新材料领域，预计到 2030 年，我国可降解塑料需求量可达 400 万 t 以上，市场规模可达接近 1 000 亿元。当前阶段，无论是聚乳酸还是聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯，相对于传统塑料来说，价格仍然严重限制了其在农业上的推广。将可降解塑料广泛应用于农业生产还需要工业产能不断扩大、政策支持引导等多方面因素共同合力才可以较快实现。

综上所述，在农业投入品的减量增效的研究和推广方面，近年越来越引起人们重视，但目前仍然缺少全面的系统性研究。另外由于技术与成本等原因，新成果在转化方面仍不尽如人意，建议研究人员应努力在以下方向取得突破。

一是化肥方面。需要研究缓控释肥或水肥缓释材料自身性能与农作物种类的协同效应，并结合种子包衣剂技术研究，提高农作物水分和肥料利用率。在深化土壤结构和成分分析的基础上，研究配方施肥、施肥时机、施肥方式、施肥量等全方位施肥管理，探明新型材料对扩大不同农作物适宜种植面积、延长农作物耐旱天数、提高水肥利用率方面的效果。二是农药方面。需要深入研究新型低毒无毒、广谱高效、绿色农药，以农药的减量增效、农作物提质增收为未来研发的方向，并针对药物残留、食品安全、虫害耐药性等问题与农药减量增效的关系需要系统研究。三是地膜方面。可先行研究可降解塑料的适用性，在完整使用周期内评估可降解塑料对农作物生长、光照、温度、湿度、产量等的影响，综合应用成本分析等，以便随着工业技术的进步在产能扩大

成本降低的背景下实现可降解塑料的替代。

要实现农业投入品“减量增效”，关键要把握用量、用法与时期等 3 个方面，遵循多措并举的方针，减少投入成本，增加生产效益，在保证良好的生态环境下实现农业生产绿色增产增效，实现农业高质量可持续发展<sup>[2]</sup>。我国有 14 亿人口，研究农作物投入品的减量增效不仅有着巨大的现实需求，还是进一步做好我国粮食安全，实现“藏粮于地，藏粮于技”战略的重要措施，以加快实现我国农业向高效生态农业的转变。

#### 参考文献：

- [1] 陆若辉, 陈一定. 浙江农业施用化肥减量可行性分析[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 769-783.
- [2] 郭永生. 关于小麦农业投入品“减量增效”的思考[J]. 河南农业, 2019(6): 62-63.
- [3] 王 启, 张 辉, 廖桂堂, 等. 四川省主要农业投入品时空变化特征及影响因素[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(8): 717-725.
- [4] 秦玉川, 刘本同, 王衍彬, 等. 磷酸镁铵缓释肥在早稻上的减肥增效试验研究[J]. 山东农业工程学院学报, 2020, 37(12): 32-34.
- [5] 丁志磊, 李 元, 蒋 翔, 等. 不同缓释肥施用比例对桃树-大豆间作农田地表径流氮、磷流失及土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 301-305.
- [6] 谢培才, 马冬梅, 张兴德, 等. 包膜缓释肥的养分释放及其增产效应[J]. 土壤肥料, 2005(1): 23-28.
- [7] 邓小婵, 方艳芬, 阮长城, 等. 改性魔芋水凝胶/膨润土双层包膜缓释复合肥料制备及性能研究[J]. 三峡大学学报, 2017, 39(4): 90-95.
- [8] 曹 兵, 王 孟, 杨凯劲, 等. P(AA-AM)/SiO<sub>2</sub> 复合保水材料的制备及其在保水缓释肥中应用[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 167-173.
- [9] 王 富, 魏占民, 付晨星, 等. PAM 与 SAP 联合施用对旱作坡耕地的水分保蓄影响[J]. 节水灌溉, 2020(8): 55-58.
- [10] 易 军, 符慧娟, 李星月, 等. 化学农药减量化措施对水稻病虫害发生及产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(12): 1913-1923.
- [11] 张 舒, 赵 华, 吕 亮, 等. 不同化肥农药减施组合对水稻主要病虫害发生及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 1-7.
- [12] 王知跃, 肖桂萍, 徐 传. 玉米地膜覆盖减量增效技术研究初报[J]. 农村实用技术, 2020(10): 71-72.
- [13] 陈志国, 石光农. 临夏市玉米地膜减量现状分析与建议[J]. 现代农业, 2019(6): 79.
- [14] 姬月娥. 康乐县玉米地膜减量调查报告[J]. 农艺农技, 2019(5): 33-41.