

# 化学肥料减施增效调控途径

周卫

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所)

**摘要:** 针对我国化肥不合理施用引起环境污染等问题,分析了肥料利用率低的主要原因,剖析了欧美发达国家提高肥料利用率的主要途径;从推荐施肥方法,化肥有机替代、新型肥料创制、面向智能机具的基础研究等方面综述了化肥减施增效研究的主要进展,提出未来主要任务包括建立先进推荐施肥方法与养分限量标准,实施有机养分替代化肥策略,创制高效新型肥料,研发智能化施肥技术与装备,为我国化肥用量零增长行动提供有力支撑。

**关键词:** 化肥减施增效; 推荐施肥; 有机替代; 新型肥料; 智能机具

## 1 国内现状

肥料是国家粮食安全的重要保障。我国化肥过量施用严重,肥料利用率低。我国常年化肥用量高达6000万吨,占世界化肥消费总量的35%。单位耕地面积化肥用量是世界平均水平的3倍,是欧美国家的2.5倍。肥料利用率氮30%—35%,磷10%—20%,远低于发达国家。肥料利用率低的主要有四方面原因,一是养分管理方法局限。我国东北、华北和长江中下游过量施肥严重,但测土施肥实现困难,土壤氮素至今缺少满意的测试方法,土壤测试不及时或条件不具备,小农户不可能都测土施肥;二是有机肥料替代困难。有机肥料资源未能充分利用,畜禽有机肥还田率不到一半,秸秆还田率仅35%,有机肥和秸秆在土壤中微生物转化缓慢,养分释放难以匹配作物需求。秸秆还田C/N过高,微生物与作物争氮,造成减产;三是肥料品种结构不足。氮肥易于损失,总损失率43%,缓控释氮肥缺乏;磷肥土壤固定强烈(40%—80%),大量磷素蓄积,微生物活化土壤磷的潜力远未发挥;作物专用复混肥料、水溶肥料、微生物肥料产品不足,急需优化升级;四是施肥机具方式落后。传统人工施肥方式仍然占主导地位,化肥撒施、表施普遍,浪费严重。机械化施肥较少,仅占主要农作物种植面积30%左右,精准施肥、水肥一体化等智能化施肥基础薄弱。过量施肥造成水体富营养化、温室气体增排、土壤酸化等生态环境问题,引起世界广泛关注。若不加控制,到2030年化肥用量将达8000万吨,氮排放增长50%。

## 2 国际趋势

化学肥料减施是全球性重大科学命题,发达国家优先得以解决。欧美发达国家自上世纪五十年代开始,化肥用量快速增加,到八十年代达到顶峰,引发了一系列的生态环境问题。为此,这些国家采用一系列调控措施,欧洲氮磷化肥用量随之分别下降30%和50%而粮食产量保持稳定,美国则实现了化肥用量零增长而粮食产量持续增加,从而实现了化肥的科学减施。发达国家的主要有以下调控措施:一是建立先进的推荐施肥方法,制订养分限量标准。欧盟、英国、德国、丹麦等肥料立法,颁布养分限量标准;加拿大制定《肥料法令》和《肥料管理条例》;美国倡导4R施肥技术,各州均建有计算机推荐施肥专家系统。二是充分发挥有机肥料替代化肥的作用。秸秆还田列入国际持续农业的关键技术之一,美国每年秸秆还田量约占秸秆总量的68%,最高达90%。2013年美国出版的《微生物养活世界》一书,认为有机肥与无机肥配施下化肥可减施20%,作物增产20%。三是创制新型肥料。欧美日的复合肥料和作物专用肥占据市场主导地位,并注重研发与作物养分需求匹配的缓控释肥料、速溶肥料等新型肥料。四是研发智能机具。美国研发智能化精准施肥机具,日本研发化肥深施机械,以色列大力发展水肥一体化技术与装备,大幅度提高肥料利用率。与发达国家比较,我国的差距主要体现在推荐施肥实现困难,肥料限量标准缺失;以化学肥料为主,有机替代不足;肥料技术跟踪国际,创新产品少;施肥装备缺乏智能化配套。因此,建立先进养分管理

方法、实施有机肥料替代策略、创制新型高效肥料、研发智能化施肥机具是实现化学肥料减施增效的关键。

### 3 研究进展

在 973 计划、国家科技支撑计划、公益性农业行业科研专项、IPNI 重大国际合作项目等支持下，围绕化学肥料减施增效调控途径，研究团队在以下方面取得重要进展。

(一) 建立推荐施肥新方法。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所和国际植物营养研究所近年来提出了基于作物产量与农学效率的推荐施肥方法，并将其结合现代信息技术研发形成界面友好，操作简单的 NE 养分专家系统。该方法既适合当前我国以小农户为主体的国情，也适合大面积区域推荐施肥，可以在没有土壤测试的条件下应用，是一种轻简化的推荐施肥方法。大量田间验证试验表明，该方法在保证作物产量的前提下，能够科学减施氮肥和磷肥 20%–30%，提高了氮肥利用率 10 个百分点以上，也推动了钾肥的平衡施用，增加了农民收入<sup>[1-3]</sup>。这种协调经济、社会和环境效应的养分管理方法，是当前施肥技术的重要革新和极具突破性的激动人心的重大进展，显示出强劲而广阔的应用前景。

(二) 实施有机肥料替代化肥策略。田间试验表明，玉米、小麦有机肥施用可当季减施化肥氮磷 50%–60%，水稻可减施 35%–55%，最适施氮量下可替代氮素 20%；发现单施 N 肥处理增加氨氧化细菌的多样性，特别是亚硝化螺菌(Cluster 3, 4)的条带数显著增加，而有机肥更有利于 AOA 生长；长期施用化肥，有利于放线菌和硝化螺菌的生长，有机肥将这种已改变的细菌群落向其初始状态恢复<sup>[4-6]</sup>；建立秸秆还田碳氮互作调氮方法，提出氮肥基追比黑龙江玉米 1:2，河南玉米和小麦 7:3，湖北小麦 7:3，水稻 7:3 或 8:2，江西水稻 6:4。发现秸秆还田提高了硝化螺菌 AOB、根瘤菌 nirK、产黄杆菌和变形菌 nirS 等相关基因丰度，目前正利用 SIP 技术研究有机肥和秸秆微生物转化。

(三) 创制新型高效肥料。发明了低成本、易降解系列肥料用缓释材料，解决了成本高、降解难的技术难题；研究菌根及溶磷微生物提高磷素吸收的机理，华北小麦应

用解磷菌和解磷菌-AMF 提高了产量，湖北水稻应用兼性厌氧枯草芽孢杆菌可减施磷肥 30%；研创含硫增效复混肥料，专用肥含 S4%，NPK46%，水稻、油菜、蔬菜平均增产分别为 8.5%、10.5% 和 9.8%；研发出含有热带假丝酵母、米曲霉、木霉菌、及枯草芽孢杆菌等高效秸秆腐熟菌剂，比现有腐熟剂缩短 1/3 腐解时间；研发高效钙肥等水溶肥料，解决了我国果树和蔬菜严重缺钙难题。

(四) 开展了面向智能化施肥机具研发的基础研究。研究面向化肥机械深施的根区施肥技术，提出了水稻、小麦和玉米根区的适宜氮素浓度，通过根区施肥，黑龙江玉米节氮 40%，增效 17%；湖北单季稻节氮 27%，增产 20%；江西双季稻节氮 15%，增产 35%；研究了智能化精准施肥技术，通过研究养分空间变异、确定管理单元、制订精准施肥方案，增产水稻 9.0%–12.5%，玉米 7.2%–11.0%，小麦 8.6%–12.5%，节约氮肥 10%–51%；研究水肥一体化技术，通过控水调氮降低了稻田氮素的淋溶损失，提高氮肥利用率；通过灌溉施肥，显著降低菜地硝态氮淋溶损失，节省氮肥 50% 以上。

### 4 未来战略

针对我国化肥不合理施用引起环境污染和生态破坏等问题，农业部提出，到 2020 年我国农业要实现化肥用量零增长。科技部启动了国家重点研发计划试点专项“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”。与发达国家人少地广的国情不同，我国人多地少，决定了我国高投入高产出的集约化生产体系，要确保粮食持续高产、肥料养分高效、及生态环境安全多重目标的实现，这一命题更具特殊性和挑战性，不能完全照搬国外经验，必须根据我国主要作物的养分需求，资源特点和工作基础，提出符合国情的化学肥料减施增效调控途径。

在化学肥料减施方面，应以东北、华北、长江中下游、华南、西南和西北等化肥过量施用地区为研究区域，聚焦主要粮食作物、经济作物、蔬菜、果树的化肥减施增效。未来主要任务包括：一是建立推荐施肥方法与养分限量标准。建立主要粮食作物、经济作物、蔬菜、果树基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法，提出养分限量标准；二是实施有机养分替代化肥策略。研究有机肥施用和秸秆还田资源特点，微生物转化调控，以及对化肥养分的替代作

用；三是创制高效新型肥料，包括增效复混肥与作物专用肥、缓控释肥料、水溶肥料、生物碳、微生物肥料与生物有机肥等；四是研发智能化施肥技术与装备，主要包括精准施肥、养分快速诊断、氮素实时监控、原位监测、水肥

一体化、化肥深施等技术与智能化装备。通过以上技术的集成应用，预期我国实际可减施化肥养分 30%—45%。研究成果将为我国化肥用量零增长行动提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] Ai C and Zhou W et al. Reduced dependence of rhizospheremicrobiome on plant-derived carbon in 32-year long-term inorganic and organic fertilized soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 80:70–78.
- [2] Ai C and Zhou W et al. Different roles of rhizosphere effect and long-term fertilization in the activity and community structure of ammonia oxidizers in a calcareous fluvo-aquic soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 57:30–42.
- [3] Zhang Q and Zhou W et al. Distribution of soil nutrients, extracellular enzyme activities and microbial communities across particle-size fractions in a long-term fertilizer experiment[J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 94: 59–71.
- [4] Xu XP and He P et al. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency[J]. *Field Crops Research*, 2014, 157: 27–34.
- [5] Chuan LM and He P et al. Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China[J]. *Field Crops Research*, 2013, 146:96–104.
- [6] Xu XP and He P, et al. Estimating nutrient uptake requirements for rice in China[J]. *Field Crops Research*, 2015, 180:37–45.