

◆新质生产力与产业态势◆

我国复合肥料产业发展方向与途径探讨

郑秀兴

(中国磷复肥工业协会, 北京 100013)

[摘要] 目前我国复合肥料产业正在逐步进入高质量发展阶段, 既有机遇更有挑战, 如何把握机遇、迎接挑战, 沿着正确的方向与途径, 在高质量发展之路上稳步前进, 是全行业企业面临的课题。介绍我国复合肥料产业现状, 以及复合肥料产业高质量发展的思路和目标; 重点探讨复合肥料产业实现高质量发展的主要途径, 包括产业结构优化、产品高质高效、生产绿色低碳、产业融合发展。展望复合肥料产业的发展前景, 未来复合肥料行业将是一个以服务于现代农业绿色高质量发展需要为宗旨, 以提高农作物的产量和品质为目标, 通过服务引领、提供优质肥料产品, 以最少的投入、最小的环境影响实现最大限度满足种植业的需求, 并不断创新发展的农资产品供应和农化服务行业。

[关键词] 复合肥料; 产业发展; 方向; 目标; 途径; 前景展望

[中图分类号] F426; TQ444 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2024) 10-0001-08

Discussion on the development direction and approach of compound fertilizer industry in China

ZHENG Xiuxing

(China Phosphatic Compound Fertilizer Industry Association, Beijing 100013, China)

Abstract: The compound fertilizer industry in China is gradually entering the stage of high-quality development, which has both opportunities and challenges. How to grasp the opportunity, meet the challenge, along the right direction and way in the road of high-quality development steady progress is the topic faced by enterprises in the whole industry. The current situation of China's compound fertilizer industry, as well as the ideas and goals for high-quality development of the compound fertilizer industry are introduced; The main ways to achieve high-quality development in the compound fertilizer industry are discussed, including optimizing the industrial structure, producing high-quality and efficient products, producing green and low-carbon products, and promoting industrial integration. Looking ahead to the development prospects of the compound fertilizer industry, the future compound fertilizer industry will be a industry supply of agricultural inputs and agrochemical services, which aims to serve the needs of modern agricultural green and high-quality development, and increase crop yield and quality. Through service leadership and providing high-quality fertilizer products, it will achieve the maximum satisfaction of the needs of the planting industry with the minimum investment, minimal environmental impact, while continuously innovating and developing.

Key words: compound fertilizer; industry development; direction; target; approach; foreground outlook

0 引言

复合肥料是在单质肥料的基础上发展起来的。在发达国家, 单质肥料的发展已有180年左右的历史, 复合肥料的发展也有近100年的历史。我国复合肥料发展起步较晚, 但发展很快。自20世纪80年代末开始, 随着巨大市场需求的拉动、技术进步的引领、民营经济的发展和规模经济的驱动, 仅用20年左右我国复合肥料产业发展进入成熟期, 成为生产经营企业数量最多、产能产量规模最大、产

品种类和品种数量最多的肥料产业, 是实现农作物增产、改善农产品品质、保障国家粮食安全、促进“三农”发展的重要支柱性产业。

随着我国社会主要矛盾发生变化, 以及农业从业人口、生产组织、种植结构、机械化、信息化、

[收稿日期] 2024-09-09

[作者简介] 郑秀兴(1957-), 男, 江西上饶人, 教授级高级工程师, 现任中国磷复肥工业协会副总工程师, 长期从事磷复肥生产、技术管理及技术研发工作。E-mail: zhengxiuxing1025@163.com

数字化和智能化等现代农业的发展变化,复合肥料产业的高质量发展既有机遇更有挑战。如何把握机遇、迎接挑战,沿着正确的方向与途径,在高质量发展之路上稳步前进,是全行业企业面临的课题。笔者重点探讨我国复合肥料产业高质量发展阶段的发展方向与途径,主要内容包括产业现状、发展思路、方向目标、主要途径和前景展望等。

1 我国复合肥料产业现状

在产能产量上,2023年我国复合肥料产量约5 700万t,占全球总产量的50%左右;产量比2015年的峰值(约6 500万t)降低约800万t,年均下降1.63%;产能总规模2亿t/a以上,其中100万t/a规模以上的企业有70余家,合计产能约1亿t/a;有生产许可证的复合肥料企业2 500余家,国家统计局统计规模以上企业760余家。在产品种类上,目前15-15-15等各种通用型,以及N、P₂O₅和K₂O可在4%~30%调整的系列NPK产品逐步发展到数千个品种,同时各类NPK新型肥料品种快速发展。在生产工艺上,有料浆法、团粒法、熔体法和混合法四大类,按照核心工序流程和主要设备性能特点的不同,每一大类又可分成多种不同的工艺。在装备水平上,部分引进技术国产化的料浆法工艺、改进型的团粒法和挤压法工艺、近期新建的熔体法高塔造粒工艺等的装备技术较先进,但大部分中小型生产装置的装备技术水平较氮肥、磷肥产业还存在较大差距。

目前,我国复合肥料产业总体上仍存在诸多不足:产能产量规模大,产能利用率不高;产品种类多,产品肥效差异大;工艺类型多,能耗差异大;装备水平、环保水平参差不齐等。我国复合肥料产业以产能、产量扩张为主要特征的外延式发展已经过去,以质量提升、节能低碳,满足现代农业发展需求为主要特征的内涵式发展还在起步阶段^[1]。

2 我国复合肥料产业高质量发展思路、方向目标

2.1 发展思路

以创新为动力,推动我国复合肥料产业高质高效、绿色低碳、融合发展。持续产品和技术创新,提高质量,增强功能,打造绿色供应链,创制绿色高效产品;节能降碳、降耗减排,优化、改进、创新工艺设备,创建绿色低碳工厂。持续管理和服务创新,优化产业组织、合理集中、科学分布;转变经营模式、创新服务方式,耦合协作、融合发展。实现产业发展与农业需求相适应、规模经济与区域合理布局相结合、产业集中与差异化及多样性市场

需求相配套;实现本质安全、本质环保;实现产品质量、服务质量和行业运行质量全面提升,产业高质量发展。

2.2 方向目标

我国复合肥料产业高质量发展的重点方向是因地制宜,创新发展复合化、专用化和高效化产品,优化、改进、创新生产技术,与相关产业协同创新、融合发展;主要目标是实现产业结构合理、分布科学,产品高质高效,生产绿色低碳,肥料生产和使用的复合化率、肥料利用率、产品能耗及碳排放量等达到国际先进水平,全面满足现代农业绿色高质量发展需求。

3 我国复合肥料产业高质量发展主要途径

复合肥料产业高质量发展的主要途径:一是产业结构优化,包括优化产业组织和产业分布、优化原料结构和产品结构、转变经营模式、创新服务方式、服务引领发展等;二是产品高质高效,包括创新发展复合化内涵、创新发展专用化肥料、创新发展高效化肥料、创新发展高效施肥等;三是生产过程绿色低碳,包括优化改进现有工艺、改进创新设备技术、开发绿色低碳工艺、安全创新和规范管理;四是产业融合发展,包括与相关产业联合创新、紧密衔接,以及健全服务体系、共享数字资源等。

3.1 产业结构优化

随着国民经济的发展,我国复合肥料产业,企业大型化、集团化快速发展,组织结构、产业分布、原料结构和产品结构等逐步趋向合理,但还需进一步优化;企业经营模式、服务方式的转变也有待进一步深化。

产业结构优化的主要目标是实现以最少的资源和能源消耗、最小的环境影响,提供最大限度满足现代农业绿色高质量发展需求的肥料产品和服务。

产业结构优化的主要途径:一是优化产业组织和分布;二是优化原料和产品结构;三是转变经营模式、创新服务方式,服务引领发展。

3.1.1 优化产业组织和分布

重点是进一步提高产业集中度,在一定区域范围内合理布局适宜规模的生产基地及企业类型,形成大、中、小型企业的合理组合和科学分布。优化产业组织和产业分布,一是要继续培育发展大型骨干企业,鼓励大型企业(集团)利用资金、技术、品牌等优势,在全国乃至全球范围内有资源、能源、运输、市场等优势的区域科学合理布局生产基

地(企业),产品和服务覆盖全国乃至全球市场;二是要为中小型企业的生存和发展创造条件,引导中小企业发挥原料和产品运输及用肥市场的区域优势,在省、市、县等区域范围内为农作物种植提供产品和服务,满足肥料市场的多样性需求。

3.1.2 优化原料和产品结构

重点是增加以单质肥料生产的中间物料(半成品)等为原料,合理使用资源稀缺和生产成本高的单质肥料产品原料,拓展肥料助剂等高附加值的原(辅)料和有机养分资源等原料资源;提高专用和新型复合肥料占比,适度发展中低浓度复合肥料产品。

在优化原料结构方面,一是应充分利用上游产业的过磷酸钙、重过磷酸钙、磷酸铵、硝酸铵及尿素等磷肥和氮肥产品生产过程的中间物料(或半成品),以及硫酸、盐酸、硝酸和合成氨等化工原料直接生产复合肥料;二是应针对目标市场需求合理使用硫酸钾、硝态氮肥,以及中微量元素、黄腐酸、海藻酸和氨基酸等高附加值的原(辅)料,不断开发使用其他高效、高附加值的肥料增效物质或功能性物质;三是应合理使用经无害化处理的工农业及城市生活废弃物等有机养分资源为原(辅)料。

在优化产品结构方面,一是要因地制宜研发能够适合于不同区域土壤农作物的专用复合肥料,减少15-15-15等相同养分比例的通用型复合肥料的占比,大幅度提高与农作物、土壤相匹配的专用及新型复合肥料的占比;二是要根据目标市场的土壤及气候环境等条件和施肥方式的养分供应能力,研发能够显著提高农作物产量和改善农产品品质,提高肥料利用率、提高或增强肥效的各种专用及新型复合肥料;三是要因地制宜,在一定的区域范围内,适当发展肥效好、利用率高、资源节约、环境友好的中低浓度复合肥料。

高浓度复合肥料的主要特点和优势是养分浓度高、单位养分运输成本低,但存在全产业链的工艺流程长、生产成本低,磷矿中的钙、硅、铁、镁等中微量元素未得到利用,“三废”排放量大和处理难度大等不足;中低浓度复合肥料的主要特点和优势与高浓度复合肥料正好相反。在一定的区域范围内,在全产业链中,当低浓度复合肥料的磷素养分等主要生产原料和产品的单位养分运输费用的增加小于等于高浓度复合肥料的生产成本增加时,一般来说产品的综合能耗及碳排放量也会更低,则更适合发展中低浓度复合肥料。

3.1.3 转变经营模式、创新服务方式,服务引领发展

在复合肥料产业高质量发展阶段,复合肥料行业企业应由以生产或销售为主导的经营模式转向以服务为主导引领生产和销售的经营模式,不断创新农化服务方式,通过服务引导企业的生产经营、引领产业发展。

复合肥料行业企业一是应充分了解、掌握现代农业的发展变化、趋势、方向和目标,以及国家的相关政策,结合企业特点研究制定相应的经营模式;二是行业企业的农化服务组织应融合于农业社会化服务体系,与相关农业社会化服务组织良好对接、耦合协作,在企业产品覆盖的区域建立健全农化服务网络;三是应以农化服务为先导,研制符合目标市场区域土壤农作物种植需要的专用和新型复合肥料产品;四是应针对目标市场种植的产量和品质目标、农作物和土壤养分需求及环境条件等,推荐科学施肥技术,制定全套解决方案,提供肥料产品及其配套服务。

3.2 产品高质高效

我国复合肥料产品的发展已经历了从低浓度到高浓度、从NPK相同养分比例的通用型到不同养分比例的农作物专用型、从十几个品种到数千个品种的创新过程,但目前针对目标市场需求的产品研发、生产制造和农化服务还比较欠缺,仍然难以满足现代农业绿色高质量发展需求。在产业的高质量发展阶段,继续沿着复合化、专用化、高效化的发展之路,不断创新发展高质高效产品,是复合肥料产品创新发展的主要方向。

产品高质高效的主要目标是要全面提升产品质量,提高产品肥效,增强产品功能,提高肥料利用率,满足现代农业绿色高质量发展需求。

产品高质高效的主要途径:一是创新发展复合化内涵;二是创新发展专用化肥料;三是创新发展高效化肥料;四是创新发展高效施肥。

3.2.1 创新发展复合化内涵

产业进入高质量发展阶段,肥料复合化的内涵在不断创新。肥料的复合化已不仅仅是氮、磷、钾大量元素的复合化,既包括肥料生产的复合化,也包括肥料使用的复合化,既包括大量元素与中微量元素的高效复合化、无机养分不同形态的高效复合化、有机养分与无机养分的高效复合化、肥料养分与肥料增效物质和功能性物质的高效复合化、肥料和肥料助剂与土壤物质的高效复合化,也

包括肥料养分的释放与农作物的养分吸收智能调控技术的复合化等。

3.2.2 创新发展专用化肥料

创新发展专用化肥料，重点是针对目标市场需求，创新发展同时满足农作物专用、土壤专用和施肥方式专用等的复合肥料。

创新发展专用化肥料，一是需要充分了解、掌握各种农作物种植的营养需求规律，以及随着科学施肥技术的发展对肥料产品理化性状等性能的要求；二是需要充分了解、掌握区域土壤的养分状况和不同条件下肥料的养分供应能力，以及农作物种植气候环境等条件对肥料产品及施肥的技术要求；三是需要了解、掌握科学施肥技术和不同形态营养物质在土壤中的养分释放规律，按照特定区域土壤农作物种植的产量和品质目标，开发与区域土壤农作物和施肥技术相匹配的各类专用复合肥料^[1]。

3.2.3 创新发展高效化肥料

创新发展高效化肥料，重点是创新发展新型肥料。新型肥料是采用新的原（辅）料和（或）新技术制备的，能够显著提高肥料产品肥效的肥料新产品。创新发展新型肥料，主要包括：

一是创新发展速效类新型肥料。这类产品施用后以标明量养分能快速传送到农作物供农作物吸收为主要性能特征，包括在创新发展全水溶性磷素等单质肥料的基础上，通过采用新技术和（或）新配方，以及添加肥料助剂等，使产品能快速完全溶于水，适应于喷施、滴灌等现代设施农业的施肥方式，施用后部分营养物质能快速传送给农作物并被转化吸收或直接被吸收，以具有速效性为主要性能特征的肥料。目前市场上已经形成一定规模及正在发展的速效类新型复合肥料主要有水溶型和硝基型等，包括符合NY/T 1107《大量元素水溶肥料》、NY 2266《中量元素水溶肥料》、NY 1428《微量元素水溶肥料》、GB/T 17420《微量元素叶面肥料》、HG/T 4365《水溶性肥料》、GB/T 10510《硝酸磷肥 硝酸钾肥》、HG/T 4851《硝基复合肥料》和HG/T 4852《农业用硝酸铵钾》等标准的肥料。

二是创新发展缓效类新型肥料。这类产品施用后以标明量养分能比较缓慢释放供农作物吸收为主要性能特征，包括在创新发展具有缓控释氮素等单质肥料的基础上，通过采用新技术和（或）新配方，以及添加肥料助剂等，改变传统肥料养分的形态、养分的转化和释放性能或增加具有缓释效果的养分物质，使产品施用后部分营养物质能缓慢释

放，满足农作物种植生长过程中养分缓慢吸收的需求，以具有缓效性为主要性能特征的肥料。目前市场上已经形成一定规模及正在发展的缓效类新型复合肥料主要有缓释型、控释型、稳定型、脲醛型、聚合态磷型等，包括符合HG/T 4217《无机包裹型复混肥料（复合肥料）》、GB/T 35113《稳定性肥料》、GB/T 34763《脲醛缓释肥料》、T/CPFIA 0005《含聚合态磷复合肥料》等标准的肥料。

三是创新发展营养类新型肥料。这类产品施用后以标明量养分在氮、磷、钾等传统肥料养分功效的基础上，增加了营养元素或提高了养分的营养功效为主要性能特征，包括在创新发展施入土壤中能被农作物高效利用的各种中微量元素、有机养分物质、养分增效物质等肥料助剂的基础上，采用（或添加）含有中微量元素、有机物质等农作物营养的原（辅）料和（或）养分增效物质，满足区域土壤农作物种植的营养平衡需求，满足具有保健功能的农产品种植的功能农业发展需求，减少养分流失或提高农作物的养分吸收能力等，以具有增加或增强产品营养功效为主要性能特征的肥料。目前市场上已经形成一定规模及正在发展的营养类新型复合肥料主要有螯合养分型、有机无机型、肥效保持型等，包括符合HG/T 5331《含螯合微量元素复混肥料（复合肥料）》、GB/T 18877《有机无机复混肥料》、HG/T 5519《含肥效保持剂肥料》和DB41/T 1413《控失肥料》等标准的肥料。

四是创新发展功能类新型肥料。这类产品施用后以标明量的功能性物质除了可能具有增强产品的营养功效、物理性状功效以外，还具有其他有助于植物生长和农产品品质提升功能为主要性能特征，包括在创新发展各种生物刺激素、微生物菌剂等功能性肥料和（或）增强产品功能的功能性物质的基础上，通过添加含有一定量生物刺激素、微生物菌剂和（或）其他功能性物质的原（辅）料，刺激、调节农作物生长，调节土壤性状，提高农作物抗逆性，改善农作物生长环境等，以具有增强产品营养功效、物理性状功效以外的其他有助于农作物生长和农产品品质提升为主要性能特征的肥料。目前市场上已经形成一定规模及正在发展的功能类新型复合肥料主要有微生物型、腐植酸型、海藻酸型、氨基酸型、药肥（农药型）等，包括符合NY 798《复合微生物肥料》、HG/T 5046《腐植酸复合肥料》、NY 1106《含腐植酸复合肥料》、T/CPFIA 0002《含矿物源黄腐酸钾大量元素水溶肥料》、HG/T

5050《海藻酸复合肥料》、T/CPFIA 0004《多肽复合肥料》、NY 1429《含氨基酸水溶肥料》、T/CPFIA 0006《含聚谷氨酸复合肥料》、NY/T 3589《颗粒状药肥技术规范》和NY/T 3041《生物炭基肥料》等标准的肥料。

五是创新发展智能类新型肥料。这类产品以标明量养分与农作物-土壤-环境相匹配,施用后氮、磷、钾等养分能够按照农作物生长的养分需求及时、合理、智能化地释放供应,满足农作物种植增产和农产品品质提升需要为主要性能特征,包括针对农作物的养分需求规律,以及土壤和气候等环境条件,通过科学合理的产品配方和智能调控技术,满足农作物种植从播种到收割的不同生长阶段及全生长期营养需求的绿色低碳的智能类新型复合肥料,可以是速效类与缓效类产品相结合、营养类与功能类产品相结合,并结合农作物和土壤的养分需求、施肥方式和环境因素,通过组合创新和智能化调控技术等手段,实现精准供应农作物生长期所需的养分及有利于农作物生长和农产品品质提升的功能性物质。目前,智能类新型肥料还处在研发和试验阶段,市场上还没有出现大面积推广使用和标准化的肥料产品,满足一次性施肥市场需求的含有缓释、控释氮素等的新型复合肥料(BB肥),满足机械化等一次性施肥需要的特大颗粒新型复合肥料等在向智能类新型肥料的方向发展。

3.2.4 创新发展高效化施肥

创新发展高效化施肥,重点是加强肥料使用研究和创新高效施肥技术,提高肥料利用率和肥料使用价值。目前我国粮食生产化肥当季利用率在40%左右,与欧美发达国家60%~70%的化肥利用率相比还有较大差距,特别是磷肥当季利用率较低(只有25%左右)。在不断提高产品质量、创新发展专用化肥料和创新发展高效化肥料的同时,创新发展高效化施肥,是提高肥料利用率和肥料使用价值的重要环节。

创新发展高效化施肥的重点,是要攻克肥料利用率(特别是肥料中磷的利用率)较低的技术难题,一是要针对不同区域土壤农作物种植的养分需求,在研究不同种类和不同形态的养分物质、肥料养分物质与肥料增效物质和功能性物质等肥料助剂高效复合,以及肥料养分释放与农作物养分吸收调控技术高效复合的基础上,研究开发高效的肥料使用技术;二是通过肥料产品营养物质性能、肥料助剂的使用性能及其协同作用的研究,土壤-农作物

体系生物学潜力研究,磷矿-有机资源生物学潜力研究,选择或研发与区域土壤农作物匹配的肥料,改进、创新发展科学施肥技术;三是创新发展快速测土、控量施肥、水肥一体化及智能化精准灌溉施肥,以及种肥同步、机械化施肥、精准变量施肥等科学施肥技术^[2]。

3.3 生产绿色低碳

我国复合肥料生产技术,无论是引进技术和装备的消化吸收和改进再创新,还是国产技术的开发创新,以及在装置的规模化、自动化等方面,近30多年都取得了很大的成就。然而,现有工艺的优化改进,还有很大的节能降碳减排潜力;装置的系统密封、原材料的计量控制、工艺过程的检测和造粒核心工序的自动化调控等,与氮肥等单质肥料的装备技术比较,还处在相对落后的状态;突破性的绿色低碳工艺及装备技术还有待于研究开发。

生产绿色低碳的主要目标,是要以最少的投入、最小的环境影响,产出最大限度满足现代农业发展需要的高效、质优、价廉的绿色肥料产品。

生产绿色低碳的主要途径,一是优化改进现有工艺;二是改进创新设备技术;三是开发绿色低碳工艺。

3.3.1 优化改进现有工艺

目前,料浆法、团粒法、熔体法和混合法等几大型别的复合肥料生产工艺,各有其特点和优劣势,没有绝对的先进与落后之分。不同工艺的产品物理性状不同、所使用的原料性状不同,某类工艺统计数字综合能耗较低也不能说明这类工艺就更先进,产品综合能耗的高低需要从包括原材料和产品运输等产业链的全过程进行分析。复合肥料生产工艺的先进性,关键在于因地制宜,在一定的区域环境条件下选择最适宜的工艺并不断进行优化、改进和创新。

优化改进现有工艺的重点,一是优化改进料浆法工艺,主要是提高反应率、造粒成品率,使用创新高效的粉尘回收、造粒尾气氨回收及产品冷却等技术,实现生产装置大型化或大幅度提高产出率。二是优化改进团粒法工艺,主要是使用创新高效的系统粉尘回收、造粒、干燥及产品冷却等技术,实现团粒法工艺趋向于料浆法工艺的转化,大幅度提高装置产出率,节能降耗、超低排放。三是优化改进熔体法高塔造粒工艺,主要是强化造粒塔空气冷却以缩短料浆液滴固化时间,改进熔融和造粒尾气收集净化处理技术,提高装置产出率和环保水平。

四是因地制宜选择最佳工艺，主要是应根据不同区域的资源、能源、运输和市场等条件选择适宜工艺并进行不断改进和创新，在有磷等资源优势的区域，宜与磷肥等上游生产工序紧密有机衔接，选择料浆法工艺的较大规模装置；在有氮等资源优势的区域，宜与尿素、硝酸铵等氮肥上游生产工序紧密有机衔接，选择熔体法工艺的适度规模装置；在没有磷、氮等资源优势，但具有原材料及其产品运输优势的区域，宜在一定区域较大的市场范围，选择团粒法工艺的适度规模装置；在既没有磷、氮等资源优势，也没有原材料和产品运输优势的区域，宜在一定区域较小的市场范围，选择挤压、掺混等各种混合法工艺^[1]。

3.3.2 改进创新设备技术

目前，复合肥料生产过程中存在易相变的原料、固体原材料、高附加值原（辅）料等在线计量不够准确，以及干燥和冷却等热效率、热能回收及大功率设备节能还有较大潜力等问题。特别是料浆法、团粒法等工艺的造粒自动化调控问题一直是世界性难题。目前国内普遍依靠人工观察造粒机出料、以手动操作为主调控造粒，存在难以稳定和成品率较低等问题。

改进创新设备技术的重点，一是改进创新计量检测控制等技术，主要是改进创新易相变和固态原（辅）料、微量或痕量增效物质、系统返料和出料成品等在线计量检测调控技术，实现产品质量精准控制；二是改进创新关键设备技术，主要是改进创新干燥、冷却、除尘、洗涤等设备技术，包括主要动力设备的节能技术、热风循环技术、高效冷却/除尘/洗涤技术，以及大粒径高强度的挤压造粒技术等，实现节能降碳减排；三是改进创新造粒自动化控制技术，主要是攻克料浆法、团粒法工艺造粒工序的自动化调控技术难题，实现自动化、智能化造粒，大幅度提高造粒成品率，提高生产效率。

3.3.3 开发绿色低碳工艺

开发绿色低碳工艺，关键是要突破料浆法工艺装置补充工艺水、团粒法工艺装置补充工艺水和（或）蒸汽造粒，再将水含量较高的造粒物料进行干燥蒸发出水的传统造粒技术；要突破目前普遍采用强酸活化磷矿、普遍以氮磷钾等单质肥料产品为原料，全产业链工艺流程长、能耗物耗高、“三废”排放量大和处理难度大的传统生产技术。

开发绿色低碳工艺的重点，一是开发无工艺水的料浆法工艺，包括在料浆法（氨化粒化）等复合

肥料工艺的基础上，应用或研究开发高效的管式反应器技术、干法除尘技术、微量的氨及氟和粉尘洗涤回收技术，大幅度提高造粒成品率和装置产出率，大幅度节能降碳减排；二是开发酸解磷矿料浆直接生产复合肥料工艺，形成以硫酸、盐酸、硝酸和磷酸等酸解磷矿料浆直接生产复合肥料，高效利用磷矿资源中营养元素的新工艺；三是开发磷酸生产及净化的酸渣生产复合肥料工艺，高效利用酸渣中磷酸铁、磷酸镁等难溶性磷酸盐物质的营养元素，提高磷资源的利用率，实现以酸渣料浆作黏结剂生产复合肥料或高钾复合肥基础肥料等；四是开发非中强酸活化磷矿等生产复合肥料工艺，包括开发以中低品位磷矿为主要原料，以主要由工农业废弃物经物理、化学修饰等方法处理而制成的活化剂直接生产复合肥料工艺等，提高肥料磷素利用率，节约资源、节能减排，形成无废水、废渣、废气排放的复合肥料新工艺；五是开发氯化钾低温转化生产硫酸钾联产复合肥料工艺，包括氯化钾低温转化成硫酸氢钾制取硫酸钾联产复合肥的组合创新工艺等，从根本上解决氯化钾低温转化法生产硫基肥工艺中存在的氮含量难以提高、产品品种单一等技术瓶颈，大幅度降低“曼海姆法”和“复分解法”等工艺生产硫基复合肥料的能源消耗、废气排放和生产成本。

3.3.4 安全创新和规范管理

生产安全、产品安全、使用安全，确保农产品质量安全，是复合肥料产业高质量发展的前提。在复合肥料的产品和技术创新发展过程中，必须同时研究创新工艺过程、原料配方、产品生产和使用的安全技术，确保工艺过程、生产操作、产品质量和产品运输安全，确保肥料使用安全和农产品质量安全。安全创新和规范管理，是实现复合肥料产业高质量发展本质安全的保障。

安全创新和规范管理的重点，一是要特别注重硝酸及硝酸铵等硝态氮原料在仓储、运输、投料，以及整个复合肥料生产过程中的安全技术研究，确保从原料到产品整个生产过程、原料和产品的储运和使用过程安全；二是要特别注意在复合肥料产品中添加各种肥料助剂的安全技术研究，确保产品质量安全、使用安全、土壤不残留有毒有害物质，确保产品绿色、施用环保和农产品质量安全；三是在生产技术和管理方面，要特别注重建立健全合成氨、硫酸、硝酸及硝酸铵等危险化学品的储运、使用过程中的安全技术标准和管理规范；四是在产品

技术和管理方面,要特别注意建立健全各种肥料助剂添加使用的安全技术标准和管理规范,建立健全各种专用和新型复合肥料的产品标准、使用标准和管理规范等;五是在服务技术和管理方面,要建立健全农化服务、肥料使用、肥料市场等技术和管理规范,建立健全复合肥料的研究、生产,以及服务各类岗位工作人员、各级管理人员的技术手册、安全责任制度和安全管理规章制度等。

3.4 产业融合发展

高质量发展时代,不再是单一的某个因素在发挥作用,而是多因素、全系统、全产业链及相关产业链协同在发挥作用。复合肥料产业的高质量发展,需要与相关产业无缝对接、有机衔接,创造价值,耦合协作、融合发展。

产业融合发展的主要目标,一是攻克产品在研发、生产和使用过程中的各种技术难题,全面提高产品质量和肥料利用率;二是降低生产和服务成本,提高全行业运行效益。

产业融合发展的主要途径,一是与相关产业联合创新,攻克技术难题;二是与相关产业紧密衔接,协同创新发展;三是健全农业社会化服务体系,共享数字资源。

3.4.1 产业联合创新,攻克技术难题

目前,在创制高质高效产品、提高肥料利用率等方面,还面临着许多技术难题,如增效物质和功能性物质与肥料养分物质的协同作用机制、中微量元素物质形态及有针对性的高效使用、肥料养分释放与农作物养分吸收的智能化调控技术等。

产业联合创新,攻克技术难题的重点,一是建立产学研用深度融合创新体系,复合肥料行业企业应与科研院所合作,提高产品和技术创新能力,突破产业高质量发展技术瓶颈,实现绿色产品、绿色制造、绿色使用;二是复合肥料行业企业应与肥料助剂产业协同创新,以提高肥料产品质量、提高肥效及肥料利用率为共同目标,不断创新能够显著改善肥料生产工艺过程理化性能、改善产品物理性状、提高肥料营养功效和增强肥料产品功能等类型的绿色高效助剂,不断提高肥料产品肥效、增强肥料产品功能。

3.4.2 产业紧密衔接,协同创新发展

复合肥料是氮、磷、钾等单质肥料上游产业的延伸和发展,随着肥料复合化内涵的创新发展,产业的高质量发展,需要与上下游产业及相关产业紧密衔接、协同创新发展。

产业紧密衔接,协同创新发展的重点,一是要突破目前以单质肥料产品为主要生产原料的二次造粒加工为主导的生产模式,因地制宜创新发展以其他生产原料以及非二次造粒的生产模式;二是有条件的企业应与氮、磷、钾等原材料供应的上游产业有机衔接,缩短生产工艺流程、节能降碳减排,降低生产成本;三是要优化氮、磷、钾等无机养分、有机养分、肥料助剂等原材料供应渠道,打造绿色供应链;四是要与种植业等相关组织紧密衔接,提高肥料利用效率。

3.4.3 健全服务体系,共享数字资源

目前,我国农化服务体系还不够健全,以企业为主导的农化服务势单力薄、资源有限,面临着如何深入、如何融入农业社会化服务体系等问题。

健全服务体系,共享数字资源的重点,一是在组织体系上,复合肥料行业企业的农化服务应融入国家和地方的土壤肥力管理部门、农业科技推广部门等其他农业社会化服务组织体系,共同为农业生产提供技术服务,避免各自为营甚至产生冲突;二是在研发体系上,生产经营企业的肥料产品开发、肥料工业科研院所的肥料制造技术研究,应与农业科研院所的不同区域土壤种植及其施肥技术研究相结合,与农业生产经营组织和农产品种植业相结合,构建四位一体的农化服务创新体系;三是在宣传体系上,对于满足区域土壤农作物种植增产和农产品品质提升要求,经权威机构鉴定和实践验证的适用科学施肥技术、高质高效肥料等农资产品,肥料行业企业的促销宣传应与国家及地方农业技术推广部门相结合,应有组织、有计划、统筹开展无偿的宣传推广;四是国家相关部门应牵头组织整合我国耕地资源及土壤、农产品种植业、畜牧业和养殖业以及肥料产业等的基础数据库,提供农业及相关产业的信息化和数字化共享服务平台;行业企业充分利用农业及相关产业的信息化和数字化共享服务平台,充分了解掌握我国耕地资源及土壤、农产品种植业、畜牧业和养殖业以及肥料等农资产业的基础数据、发展现状和趋势。

4 前景展望

我国复合肥料产业的高质量发展,在产业结构优化、产品高质高效、生产绿色低碳和产业融合发展等方面,都还有很大的潜力和发展空间。未来的复合肥料行业,将是一个以服务于现代农业绿色高质量发展需要为宗旨,以农作物种植的产量和品质为目标,通过服务引领、提供优质肥料产品,以最

少的投入、最小的环境影响实现最大限度满足种植业的需求,并不断创新发展的农资产品供应和农化服务行业。复合肥料产业高质量发展的主要特征包括:

一是产品供需动态平衡。随着我国有机肥、绿肥、秸秆还田等技术的发展和用量不断增加,以及肥料提质增效、肥料利用率和农业栽培技术水平提高,在确保粮食增产和农产品品质提升的前提下,化肥的需求总量在短期内仍将继续下降并逐步趋于稳定;肥料生产和施用的复合化率、各种专用和新型复合肥料的占比将继续上升并逐步趋于稳定,复合肥料产品产量将以满足国内农业生产需求为主和满足国际市场需求为辅达到供需动态平衡。

二是产业分布科学合理。大型企业(集团)将进一步发展壮大,生产基地将合理分布在全国有资源、运输和市场优势的区域;大中型企业(生产基地),将在省、市级较大区域内合理分布;中小型企业(生产基地),将在县、乡(镇)的较小区域内合理分布。

三是原(辅)材料资源丰富。具有氮、磷等上游产业链及资源优势的企业,复合肥料生产装置将更普遍与氮、磷等上游生产工序紧密衔接,合成氨、尿素、硝酸及硝酸铵、磷酸及磷酸铵、过磷酸钙、重过磷酸钙及磷矿反应料浆等上游产业生产工序的中间物料(半成品)的热能和化学能将在复合肥料生产中得到充分利用,经无害化处理的含有机和无机养分的工农业废渣、畜禽粪便等有机无机养分资源及城市生活废弃物和废水中的养分物质,以及能够显著提高肥料产品肥效或增强产品功能的肥料增效剂或功能性物质等,将获得广泛应用。

四是产品结构趋向合理。在复合肥料产品中,能够显著提高肥料利用率、显著提高农作物产量、改善农产品品质,具有速效、缓效、提高营养功效、增强产品功能等其中一种主要性能特征的或同时具有其他一种及以上非主要性能特征的各种专用和新型复合肥料,以及智能类新型复合肥料将不断创新发展,专用和新型复合肥料在复合肥料中的占比及肥料生产和使用的复合化率将达到国际领先或先进水平。

五是生产技术国际先进。复合肥料现有工艺得到全面优化,在一定区域条件范围内采用的生产工艺达到最佳,工艺过程和产品质量精准自控、节能降碳减排和自控等装备技术水平全面提升,全面实现清洁生产,造粒实现自动化、智能化调控;绿色低碳新工艺开发取得重大突破,实现工业化和大规模产业化;复合肥料生产过程综合能耗、碳排放量和尾气排放大幅度下降;行业企业全面完成绿色工厂建设,复合肥料生产技术达到国际领先或先进水平。

六是服务功能健全高效。在农业社会化服务体系不断健全,相关产业耦合协作、融合发展的同时,行业企业在其产品覆盖的市场区域,形成健全的农化服务网络,按需求为农户提供高质高效的肥料产品、施肥技术、全套解决方案及其相关配套服务;在农业种植的品种分布、区域土壤养分、肥料及其他农资产品等公共数据库和共享服务平台不断健全的同时,随着数字化、信息化、机械化和智能化等现代农业和相关产业的发展,行业企业的农化服务和农业社会化服务体系有机融合、高效运行,科学施肥水平全面提升,肥料利用率达到国际领先或先进水平。

总之,随着我国现代农业的绿色高质量发展,未来的复合肥料产业将朝着满足区域土壤农作物种植的产量、农产品品质和人们食物健康水平不断提升的目标,以农化服务为先导,以针对性为主线,在绿色技术、绿色产品和绿色服务等方面发展空间广阔,前景光明!

[参考文献]

- [1] 郑秀兴,白海丹,冯尚善,等.磷复肥产业碳排放现状及低碳绿色发展路径[J].磷肥与复肥,2022,37(10):1-7.
ZHENG X X, BAI H D, FENG S S, et al. Carbon emission status of phosphate and compound fertilizer industry and low carbon green development path [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(10):1-7.
- [2] 郑秀兴,王莹.我国复合肥料产业发展现状与趋势[J].磷肥与复肥,2020,35(11):1-4.
ZHENG X X, WANG Y. Development status and trend of compound fertilizer industry in China [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(11):1-4.