

# 缓控释肥料对我国生态农业发展的效应分析与策略研究

孙 雪, 高璐阳, 陈宏坤, 沈彦辉, 李婷婷, 肖晨星

(新洋丰农业科技股份有限公司 养分资源高效利用湖北省工程研究中心, 湖北 荆门 448000)

**[摘要]** 缓控释肥料通过精准调控机制使养分释放速率和作物养分需求基本同步, 可简化施肥技术, 有效提高作物品质与肥料利用率, 减少农业面源污染和资源浪费, 契合我国新型肥料和生态农业发展方向。总结缓控释肥料的研究与应用现状, 探讨其对生态农业发展的影响, 从技术研发、政策支持与农化服务等角度提出推广策略, 建议开发环保可降解包膜材料、构建智能响应释放系统、完善生态效应评估体系, 并强化政策扶持与示范项目建设。

**[关键词]** 缓控释肥料; 研究进展; 生态农业; 环境; 推广策略

**[中图分类号]** S143; TQ440 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 10-0075-07

## Analysis of effects and strategy research of slow release fertilizers on development of ecological agriculture in China

SUN Xue, GAO Luyang, CHEN Hongkun, SHEN Yanhui, LI Tingting, XIAO Chenxing

(Hubei Provincial Engineering Research Center of Efficient Utilization of Nutrient Resources, Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen 448000, China)

**Abstract:** Slow release fertilizers can basically synchronize the nutrient release rate with the nutrient demand of crops through precise regulation mechanisms, simplify fertilization techniques, effectively improve crop quality and fertilizer utilization rates, reduce agricultural non-point source pollution and resource waste, aligning with the development direction of new fertilizers and ecological agriculture in China. The research and application status of slow release fertilizers are summarized, and their impact on the development of ecological agriculture is explored, promotion strategies are proposed from the perspectives of technology research and development, policy support and agricultural chemical services. It is suggested to develop environmentally friendly biodegradable coating materials, construct intelligent response and release systems, improve the ecological efficiency evaluation system, and strengthen policy support and demonstration project construction.

**Key words:** slow release fertilizer; research progress; ecological agriculture; environment; promotion strategy

“民以食为天，国以粮为安”。粮食安全作为国家安全的基石，始终关乎国计民生。2024年我国粮食总产量首次突破1.4万亿斤大关，比2023年增长1.6%<sup>[1]</sup>。在极端气候频发、国际粮价波动的复杂形势下，我国粮食生产已实现“十连丰”，彰显稳固农业生产对维护社会稳定、保障基本民生的重要性。从全球耕地综合情况看，我国以仅占世界9%的耕地面积，养活了全球近20%的人口，充分体现着“端牢中国饭碗”的战略目标。

化肥作为农业生产中不可或缺的生产资料，对土壤养分的可持续性补充至关重要。联合国粮农组织研究表明，在发展中国家粮食增产的贡献因素

中，化肥的贡献率高达55%<sup>[2-3]</sup>。我国作为世界第一大化肥消费国，通过科学施用化肥使粮食单产水平提升了40%以上。然而，尽管我国在粮食生产领域稳定发展，但长期存在“重施轻配”“盲目追肥”等不合理的施肥现象。这种不合理的施肥方式也给农业生产带来了诸多问题，对农业可持续发展

**[收稿日期]** 2025-03-27

**[作者简介]** 孙 雪(1988-),女,山东济南人,硕士,农艺师,主要从事新型肥料技术的研究与推广。

**[通信作者]** 陈宏坤(1970-),男,云南普洱人,博士,研究员,从事新型肥料研发及应用研究。

**[基金项目]** 湖北省重点研发计划(2023BBB147)

构成严峻挑战,如耕地质量下降、土壤养分失衡、土壤生态功能受损、土壤污染日趋严重等。

2024年我国水稻、玉米、小麦三大粮食作物化肥利用率为42.6%。在我国耕地复种指数显著高于国际普遍水平的种植体系下,单位耕地年产量持续保持世界前列,但这一高产模式也伴随着资源环境代价。据测算,当前农业生产体系每年浪费化肥资源逾1 000万t,由此引发耕地质量退化、土壤酸化面积扩大、地下水硝酸盐超标等一系列生态问题。

粮食安全是永恒的课题,耕地质量是粮食安全的根基。生态农业是以生态学原理为指导,通过系统优化农业生产要素配置,实现资源高效利用、生态环境保护 and 农产品质量安全协调统一的现代农业发展模式<sup>[4]</sup>,实现农业生产与生态环境的和谐共生。当前,我国农业正处于从传统粗放型向绿色集约型转型的关键阶段<sup>[5]</sup>,也是推进农业高质量发展的攻坚期。面对传统施肥模式引发的土壤退化、面源污染等多重难题,缓控释肥料作为一种高效、环境友好型肥料<sup>[6]</sup>,是实现化肥减量增效的重要方向,对减少农业化肥使用量、提高化肥利用率效果显著。在全球化日益加深的今天,积极推进缓控释肥料产业化发展,持续提升耕地综合生产能力,已成为我国生态农业可持续发展的重要课题之一。

笔者系统分析我国缓控释肥料生产与应用现状及肥料效应、生态效应,揭示其在提高养分利用率、提质增效、减少面源污染中的多维效应,探讨对生态农业发展的影响及发展策略,构建涵盖技术研发、政策引导与农化服务协同创新的推广体系,为缓控释肥料的推广与应用提供科学的理论依据和实践基础。

## 1 我国缓控释肥料产业的发展

### 1.1 缓控释肥料的概念及分类

缓控释肥料作为现代农业科技的重要成果,正逐渐成为推动农业绿色发展的关键力量。它通过物理、化学或者生物调控机制,能够有效调控肥料养分释放速率,实现与作物生长期间养分需求的同步,显著提高肥料利用率、作物产量和品质,同时减少养分流失。缓控释肥料的减肥增效作用,在推动农业绿色发展中具有巨大的发展潜力。

严格意义说,缓控释肥料分为缓释肥和控释肥两大类。缓释肥也被称为长效肥料,施入土壤后,其转化为植物可吸收成分的速率比普通肥料慢<sup>[7]</sup>。然而,缓释肥的养分释放速率与作用时间较难控制,较大程度上依赖于施肥方法和自然环境条件。比如在不同的土壤质地、酸碱度、温度和湿度条件下,

缓释肥的养分释放情况会有所差异,这就给精准施肥带来了一定的挑战。但控释肥作为缓释肥的一种高级形式,通过人为技术手段调控养分释放速率,使之与作物对营养需求基本保持一致,达到肥料高效利用目的。控释肥能够根据作物的生长阶段和需肥规律,精准地释放养分,就像给作物配备了一个“智能营养师”,为作物的健康生长提供了有力保障。

缓控释肥料主要包括树脂包衣型、硫包衣型、脲酶抑制剂型<sup>[8]</sup>等。树脂包衣缓控释肥料因缓释性能优异、养分利用率高,广受种植户青睐;硫包衣缓控释肥料则因成本效益显著,在农村地区具有广阔的应用前景;脲酶抑制剂缓控释肥料则通过抑制尿素的水解速率,实现氮素的缓慢释放,满足了特定的农业生产需求<sup>[9]</sup>。

### 1.2 我国缓控释肥料的发展历程

缓控释肥料最早起源于美国<sup>[10]</sup>,随后欧洲、日本也开始了对缓控释肥料的研究,始终以肥料的长效、高效研究和开发为主线<sup>[11]</sup>。我国对缓控释肥料的研究起步较晚,目前仍处于初级阶段。早在1974年,作为行业先锋的中国科学院南京土壤研究所率先探索长效氮肥,并成功研制出钙镁磷肥包裹的颗粒碳铵。20世纪80年代中期,国内众多科研机构及工厂相继具备了缓控释肥料试验与研发的设施与技术条件,包膜控释肥研究进一步受到重视。

20世纪90年代,我国对包膜尿素肥料开始了系统研究<sup>[12]</sup>。进入21世纪后,缓控释肥料迎来了飞速发展,生产设备和技术日益革新,不仅实现了质的飞跃,还成功推动了大规模的产业化进程。国内企业如汉枫缓释肥料(江苏)有限公司、金正大生态工程集团股份有限公司等<sup>[13]</sup>纷纷涉足缓控释肥料领域,实现了工业化生产。在国内缓控释肥料的研究取得实质性进展的同时,部分缓控释肥料产品的质量已达到国际先进水平<sup>[14]</sup>。

2006年以前,以花卉、草坪园艺等高端经济作物市场为主的全球缓控释肥料产业处于稳定态势,产能增长并不显著。2006年以后,随着我国缓控释肥料行业的迅猛发展,全球缓控释肥料产能迅速增长,也在大田作物上推广应用。随着生态农业的发展,我国缓控释肥料在生态农业领域具有显著的优势和广阔的应用前景。特别是在一些生态农业示范区,缓控释肥料的推广使用已经成为一种趋势。2007年中央一号文件将缓控释肥料列入新型肥料重点发展的方向<sup>[15]</sup>。

当前, 尽管我国在缓控释肥料领域已取得了一系列试验研究成果, 但尚未实现大规模的推广应用。为了促进缓控释肥料的持续发展, 目前的研究方向应以开发可光降解或生物降解包膜材料为主<sup>[16]</sup>, 致力于生产原料易得、安全环保、适用于工业化生产的低成本的缓控释肥料, 并创新设计不同养分释放模式, 以促进缓控释肥料的高质量发展。

### 1.3 缓控释肥料的制备方法及其作用机制

缓控释肥料制备的核心原理在于通过不同手段实现对养分释放速率的精准调节。目前, 缓控释肥料主要通过物理包膜法、化学合成法及生物法等多种方法制备。

物理包膜法选择无机或有机材料作为包膜材料, 通过加热、喷涂等物理手段, 形成具有核壳式结构的缓控释肥料。这些包膜材料不仅来源广泛、成本低廉, 而且部分还具有环境友好性和改善土壤结构的能力。物理包膜法因其工艺简单、成本较低而得到广泛应用。但该方法可能存在以下问题: 包膜均匀性差, 导致养分释放不稳定; 材料降解受环境影响大, 释放速率难以控制; 部分塑料基包膜可能造成微塑料污染, 威胁土壤健康等问题。

化学合成法是制备缓控释肥料的重要手段, 主要通过加成、聚合或缩聚等化学方法, 使传统肥料与聚合物发生反应, 从而制备出具有缓释性能的肥料。该肥料所含养分的释放速率取决于聚合物键的性质、立体化学结构、疏水性、降解难易程度和交联程度等。如, 硫包衣技术就是一种典型的化学合成法, 它通过在肥料表面形成一层硫膜, 有效控制肥料养分的释放速率, 使养分能够根据作物的生长需求缓慢释放, 提高肥料的利用率。但该方法合成工艺复杂, 反应条件严格, 生产成本较高, 释放速率受环境影响大, 土壤微生物、水分、温度等因素可能改变聚合物降解速率, 硫包衣在潮湿环境中易氧化, 导致养分释放过快, 降低缓释效果。

生物法则是利用微生物的代谢活动来调节肥料养分的释放过程。生物法制备的缓控释肥料不仅具有环保、可持续的优点, 还能根据土壤和作物的具体情况进行定制化生产, 满足农业生产的多样化需求。该方法也存在诸多挑战: 微生物活性高度依赖环境条件, 土壤温度、湿度、pH值等因素显著影响养分释放稳定性; 发酵周期长, 难以满足大规模生产需求; 菌种筛选与优化难度大, 不同作物和土壤需要特定的微生物组合, 研发成本高。

缓控释肥料的养分释放主要依靠扩散机制, 当

作物吸收养分时, 肥料膜内外产生浓度差, 从而促进养分的释放。温度也是影响缓控释肥料养分释放的重要因素。随着温度升高, 植物生长速率加快, 肥料养分的释放速率也随之加快, 以满足植物增长的养分需求<sup>[17]</sup>。由于制造工艺不同, 不同缓释肥料在养分配比、颗粒物理特性等核心参数上存在本质差别, 导致其在田间应用时会产生差异化的肥效表现。这种养分释放特性既取决于肥料本身的化学组成特性, 也受到多重环境因子的复合影响, 如包膜材料的降解速率与膜层结构<sup>[18]</sup>, 施肥方式的空间分布特征, 以及土壤质地、pH、有机质和灌溉方式<sup>[19]</sup>等。

缓控释肥料通过精准调控养分的释放速率, 使肥料中的养分能够与作物的养分吸收规律相匹配, 从而实现了养分的高效利用。与常规肥料相比, 缓控释肥料能够有效减少养分的挥发和淋溶损失, 养分利用率提高10%~30%, 氮肥的利用率甚至可以达到50%~70%。这种持续、稳定地提供作物所需养分的方式, 不仅极大地促进了作物的根系生长和地上部干物质的积累, 提高了作物产量和品质, 部分缓控释肥料的包膜材料在土壤中能够逐渐降解, 释放出的养分和有益物质能够改善土壤结构, 提高土壤肥力。如, 生物炭基缓控释肥料中的生物炭成分能够增加土壤的有机质含量, 其多孔结构可增强土壤的通气性和保水性, 为作物的生长提供良好的土壤环境<sup>[20]</sup>。

## 2 缓控释肥料对生态农业发展的影响

### 2.1 缓控释肥料的肥料效应

缓控释肥料能有效调控养分释放速率, 显著降低因挥发和淋溶等因素造成的肥料损失。在提高农业新质生产力方面, 相对于传统化肥, 缓控释肥料在作物整个生长周期内, 能显著减少养分流失, 使作物获得稳定且适量的营养供给, 显著提高作物产量, 改善作物品质。据相关数据显示, 施用缓控释肥料的大田作物, 作物产量平均可提升10%~20%<sup>[21]</sup>。谢培才等<sup>[22]</sup>的研究表明, 包膜缓控释肥料可显著提高肥料中的氮、磷、钾利用率。与普通复合肥相比, 在玉米、小麦上施用包膜缓控释肥料, 氮素的利用率分别提高5.04%、9.14%, 磷素的利用率分别提高11.22%、17.52%, 钾素的利用率分别提高11.26%、8.35%。研究表明, 施用缓释肥的水稻虽然在前期长势慢于常规施肥, 但是到了后期长势明显好于后者。施用缓释肥可改善水稻的穗粒结构, 促成大穗, 增加水稻的穗长、总粒数和实粒数, 提

高结实率和千粒质量,从而提高水稻产量<sup>[23]</sup>。

在改善农产品质量与品质方面,缓控释肥料的应用使得农产品中的营养成分更加均衡,口感和风味也得到了提升。由于缓控释肥料能够减少化肥的过量使用,避免了土壤污染和作物病虫害的加剧,从而保证了农产品的安全性和健康性。宋亚栋<sup>[24]</sup>研究表明,缓控释肥料可显著提高小麦氮肥的利用率,增加小麦生长中后期的干物质积累,提高产量并改善小麦籽粒的品质,尤其是提高小麦籽粒中蛋白质的含量。缓控释肥料在不同区域、不同作物上的肥料效应也得到了广泛试验。在东北地区,玉米施用缓控释肥料后平均增产10%,同时可减少20%的化肥施用量。在华南地区,缓控释肥料不仅将水稻产量提高了10.1%,还显著降低了病虫害的发生率<sup>[25]</sup>。在果树和蔬菜等作物的种植中,缓控释肥料同样展现出了良好的增产效果和品质提升作用。

新洋丰农业科技股份有限公司(简称新洋丰)自主研发的缓控释肥料,可以解决作物后期脱肥和不便追肥的问题,适合在水分气候适宜、中碱性土壤上推广。其中,聚氨酯包膜控释肥养分缓慢释放,可有效解决早衰问题,帮助种植户实现增产。近两年,这款肥料在河南、江苏、山东等区域进行了大量的玉米田间试验示范,实现667 m<sup>2</sup>增产10%,增收170元。黄翔等<sup>[26]</sup>通过盆栽试验,开展了不同种类的缓控释肥对辣椒生长发育的影响研究。试验表明,在施用同等养分含量的缓控释肥料条件下,辣椒在花期和结果期叶片叶绿素含量(SPAD)和干物质积累量均显著提高。

缓控释肥料可满足现阶段化肥零增长的需求,对农业绿色可持续发展起到重要作用。因此,我们应根据不同作物种类和地域特点,制定并实施科学合理的缓控释肥料推广策略,促进农业提质增效。

## 2.2 缓控释肥料的环境效应

当前,我国已经成为全球最大的化肥生产国和消费国,化肥年生产量约占全球总量的33%,表观消费量约占全球总量的35%。氮的气化和淋溶损失是农田氮损失的2种主要途径。长期大量施用化肥往往导致氮磷流失,不仅造成资源浪费,增加农业生产成本,还导致地表水、地下水污染,严重影响农业生态系统的平衡,甚至对人类健康构成危害。

在生态环境方面,缓控释肥料通过增强作物对养分的吸收量,有效降低N<sub>2</sub>O的排放量,降低率可高达80%。此外,缓控释肥料还可通过抑制土壤中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>向NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的氧化过程,减少土壤中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的累

积,避免氮素以NO<sub>3</sub><sup>-</sup>形式发生淋溶损失,进而降低施肥对环境的污染<sup>[27]</sup>。另外,缓控释肥料还可提升肥料利用率,有效减少化肥使用量,进而大幅度降低土壤中氮、磷等元素的积累量。

王小治等<sup>[28]</sup>研究表明,包膜尿素缓释特性明显,在基施情况下,通过径流损失的可能性很小。纪雄辉等<sup>[29]</sup>在水稻的田间和大量微区试验研究中表明,控释肥料处理的N素利用率平均为75.3%(69.3%~81.4%),比尿素高37.5%。

丁志磊等<sup>[30]</sup>研究发现,在桃树-大豆间作农田中全部施用缓释肥料,相较于普通复合肥,可减少总氮流失量24.99%、总磷流失量34.60%、氨氮流失量29.74%、硝态氮流失量30.42%,表明施缓释肥对地表径流中N、P流失的控制作用十分显著。缓控释肥料通过减少养分淋溶和挥发损失,使地表水硝酸盐质量分数降低40%以上,温室气体排放减少15%~20%,对保护农业生态环境具有显著价值。在云南洱海流域的推广案例中<sup>[31]</sup>,应用缓控释肥料的农田较常规施肥区,入湖河流总氮下降28%,为高原湖泊治理提供了创新技术支撑。缓控释肥料的推广与应用对我国生态农业的可持续发展起到了重要的促进作用,为解决农业面源污染提供了重要途径,在实际推广应用展现出了良好的生态环境效益和经济效益。

近年来,缓释钾肥的研究领域取得了显著进展,研究重点主要集中在材料创新与释放调控技术两大方面。在包膜技术领域,科研人员创新性地采用聚合物材料(如聚氨酯、壳聚糖)以及矿物材料(如沸石、膨润土)对氯化钾或硫酸钾进行包裹处理,通过精细调控膜层厚度与孔隙率,实现了钾素的高效缓释。刘金等<sup>[32]</sup>研究成果显示,相较于常规钾肥,包膜硝酸钾肥的应用使烤烟产量提升32.08%,产值增加34.30%,同时各部位烟叶的钾含量均有所提高,进一步增强了烤烟的产量与经济效益。

化学结合型缓释钾肥(如聚丙烯酸钾、腐植酸钾)则依托离子交换或螯合作用机制,有效延缓了钾的释放过程,显著增强了土壤的保钾性能。缓释钾肥在提升烤烟钾含量、产量及产值方面展现出重要作用。其钾养分缓慢释放的特性,有效提高了土壤中速效钾的含量,确保了烤烟生长后期对钾的充足吸收与需求满足。生物炭基缓释钾肥则巧妙利用生物炭的多孔结构特性来负载钾肥,不仅实现了钾素的缓释,还兼具改良土壤结构的双重功效。此

外,智能响应材料的研发成为该领域的新兴趋势,pH/温度响应型包膜材料能够智能感知作物需求,实现钾素释放机制的动态响应。

### 3 缓控释肥料推广与应用策略

缓控释肥料作为一种新型肥料,在产业化发展过程中也面临着诸多挑战,如生产成本偏高使其市场推广受限;缺乏统一技术标准,导致产品质量参差不齐;肥料生产关键工艺落后,影响产品性能;功能单一,难以满足多样化的农业生产需求等。因此,深入探讨缓控释肥料的推广与应用策略,解决其产业化发展难题,对于提供生态农业的可持续发展路径至关重要。

#### 3.1 缓控释肥料配套技术的研究与推广

缓控释肥料配套技术的研究与推广,要求不断研发适应不同作物生长需求、环境条件的缓控释肥料新产品。在实际推进过程中,要求科研机构与企业加强合作,形成产学研用深度融合的创新模式。科研机构凭借专业的研发能力和前沿的技术理念,企业依靠丰富的生产经验和敏锐的市场洞察力,二者携手不断研发适应不同作物生长需求、环境条件的缓控释肥料新产品。比如针对喜氮作物研发高氮缓控释肥,针对干旱地区研发具有保水功能的缓控释肥等。

同时,还应注重肥料施用技术的创新,如精准施肥技术、智能施肥系统的开发与应用,以提高肥料利用率,减少养分流失。此外,农民是肥料使用的主体,通过举办培训班、现场示范等方式,加强农民对缓控释肥料及其配套技术的认识与掌握,提升其科学施肥能力,是实现技术普及的关键。

#### 3.2 完善缓控释肥料生态效应评价体系

完善缓控释肥料生态效应评价体系是推动其可持续发展的关键举措。需要建立一套科学、全面的缓控释肥料效果评估体系,该体系应包含多个维度的评估内容。一方面,要进行土壤养分变化监测,定期检测土壤中氮、磷、钾等主要养分含量的变化,了解缓控释肥料对土壤肥力的长期影响;记录作物生长状况,如株高、茎粗、叶片数量与色泽等,直观反映肥料对作物生长的促进作用。同时,开展产量与品质对比分析,通过与传统肥料的对比试验,明确缓控释肥料在提高作物产量和改善品质方面的优势。这些数据能够为缓控释肥料的优化改进提供精准的数据支持,也为农民选择适宜肥料提供科学依据。

另一方面,该体系还应涵盖经济效益与环境效

益的评估。经济效益评估主要考虑肥料投入成本、作物增产增收情况等因素,确保农民使用缓控释肥料能够获得实际的经济收益。环境效益评估则重点关注其对减少化肥面源污染、保护生态环境的作用,如监测土壤和水体中氮磷流失量、温室气体排放量等指标。通过全面评估,确保缓控释肥料的推广不仅促进农业增产增收,还能有效减少化肥面源污染,保护生态环境,实现农业的绿色可持续发展。

#### 3.3 强化政策和资金扶持

推动缓控释肥料发展的强大动力是加强政策和资金支持力度。政府需出台相关政策,如提供税收优惠、补贴奖励等,鼓励企业加大对缓控释肥料研发投入力度,降低生产成本。同时,设立补贴奖励机制,对在缓控释肥料研发上取得重大突破、有效降低生产成本的企业给予资金奖励,提高其积极性和市场竞争力。此外,设立专项基金,支持缓控释肥料示范推广项目,特别是在生态农业示范区,通过示范带动,加速缓控释肥料的普及应用。还要积极引进国外先进技术和管理经验,结合我国实际情况进行消化吸收再创新,不断提升我国缓控释肥料的技术水平,推动我国缓控释肥料产业迈向新高度。

#### 3.4 打造缓控释肥料新型农化服务体系

在打造缓控释肥料新型农化服务体系的过程中,肥料企业应充分发挥自身优势,整合资源,不断创新产品与服务模式,以全方位、多层次、全程式的农化服务模式,帮助农民提高种植管理技术,推动缓控释肥料技术的普及与应用。首先,肥料企业需要构建全方位的技术服务体系。例如,新洋丰构建集测土配方、精准施肥、科学种植及技术培训等为一体的“技术服务金字塔体系”。通过设立葡萄工作站、开展技术培训及示范观摩会等方式,将缓控释肥料新技术、新产品及服务带到田间地头。金正大生态工程集团股份有限公司组建专业的农化服务团队,深入农村基层,为农民提供一对一的种植指导。根据不同地区的土壤条件和作物需求,制定个性化的施肥方案,让农民科学使用缓控释肥料。

其次,肥料企业还应积极探索“互联网+农业”服务模式,利用大数据、云计算、云管家等现代化的信息技术,为农民提供在线咨询、远程诊断、智能配肥等便捷服务,提高服务效率与质量。河南心连心化学工业集团股份有限公司借助互联网平台,建立了农业服务大数据中心,对农田的土壤肥力、作物生长状况等进行实时监测和分析,为农民提供精准的农化服务,提高服务效率与质量,助

力缓控释肥料产业更好发展。史丹利农业集团股份有限公司利用大数据、云计算、云管家等现代化的信息技术,为农民提供在线咨询、远程诊断、智能配肥等便捷服务。农民只需通过手机APP就能与专家实时沟通,获取专业的种植建议和施肥指导。

### 3.5 构建缓控释肥料技术生态化推广体系

随着智慧农业、物联网、大数据技术与精准农业的深度融合,缓控释肥料将向“智能响应型”方向发展,实现养分释放与作物生长需求的动态匹配,为构建现代化农业产业体系注入新动能。在我国从传统农业迈向现代农业的关键节点,构建缓控释肥料推广体系具有重要战略意义。

在技术攻关层面,加强基础研究是核心。一是研发环保、高效、可降解的新型包膜材料,重点解决现有材料的环境残留问题;二是创新智能释放机制,确保养分释放曲线与作物需肥规律高度吻合;三是建立基于区域特征的专用配方体系,结合土壤墒情、气候特征和作物需肥特性,实现精准调控。当前市场显示,农户选择缓控释肥的首要考量已从价格因素转向产品可靠性,更关注其安全性、释放精准度及效果稳定性。在产业培育层面,应重点扶持龙头企业,建立标准化生产线,完善质量检测体系,严格把控缓控释肥料生产的质量关,增强农户信任度。

在政策支持层面,建议将优质缓控释肥料纳入绿色生产资料补贴目录;建立以效果为导向的认证体系,对释放精准、增产显著的产品给予专项奖励;完善农技推广服务网络,通过示范田对比、技术培训等方式提升农户科学用肥水平,真正满足农户对肥料安全性和稳定性的核心需求。

## 4 总结与展望

缓控释肥料与我国生态农业低碳、绿色、可持续发展的理念高度契合,成为我国现代化农业发展中的关键路径。为进一步推动缓控释肥料技术的普及和应用,国家需要加强相关政策法规的制定和完善,为缓控释肥料的生产、销售和推广提供有力的政策保障。一方面,为缓控释肥料的生产提供严格的质量标准和监管措施,确保产品质量可靠;另一方面,在销售和推广环节给予政策扶持,如税收优惠、补贴等,降低农民使用成本,提高其使用积极性。同时,加强对农民的培训和指导,提升其科学文化素养与环境保护意识,确保农民能够深刻认识到缓控释肥料的重要性,并掌握正确的使用方法,从而更有效地推动缓控释肥料技术的普及与深入应用。只有农民真正接受并熟练运用缓控释肥料,才

能实现其大规模普及和深入应用。

发展缓控释肥料产业作为践行“藏粮于地、藏粮于技”战略的具体实践,具有重大而深远的意义。它不仅是保障粮食安全的现实需要,更是推进农业绿色转型的必由之路,契合生态农业低碳、绿色发展理念。通过技术创新、政策引导、市场培育等多项措施,缓控释肥料将在提升耕地质量、促进化肥减量增效、保护农业生态等方面发挥更大作用,为构建现代化农业产业体系、实现乡村全面振兴注入强劲动能。

### [参考文献]

- [1] 魏锋华.2024年农业经济形势稳中向好[N].中国信息报,2025-01-22(001).
- [2] 朱宪荣.轻质页岩淀粉基化肥缓释包膜材料的研究[D].大连:大连理工大学,2008.
- [3] ERISMAN J W, SUTTON M A, GALLOWAY J, et al. How a century of ammonia synthesis changed the world [J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(10): 636-639.
- [4] 孔伟.可持续发展视角下生态农业的实践与应用研究[J].数字农业与智能农机,2024(9):85-87.
- [5] 訾纪云,牛荣.我国生态农业发展路径研究[J].生态经济,2024,40(6):230-231.
- [6] 谢宜,张柳,王玲玲,等.不同缓/控释肥在直播早稻上应用效果比较研究[J].湖南农业科学,2018(2):54-57.  
XIE Y, ZHANG L, WANG L L, et al. Comparison of Application Effect of Different Slow/Controlled Release Fertilizers in Direct Broadcasting Early Rice [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2018(2): 54-57.
- [7] 于立芝,李东坡,俞守能,等.缓/控释肥料研究进展[J].生态学杂志,2006,25(12):1559-1563.  
YU L Z, LI D P, YU S N, et al. Research advances in slow/controlled release fertilizers [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(12): 1559-1563.
- [8] 刘永红,郑文涛,张晋天,等.缓/控释肥研究进展及其应用[J].华中农业大学学报,2023,42(4):167-176.
- [9] 隋常玲.控释肥硫膜在土壤中的降解转化机理及对作物生长的影响研究[D].泰安:山东农业大学,2011.  
SUI C L. Degradation and Transformation Mechanism of Controlled-Release Fertilizer Sulfur Coating in Soils and Plant Growth Responses [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011.
- [10] ZIADI N, GRANT C, SAMSON N, et al. Efficiency of controlled release urea for a potato production system in Quebec, Canada [J]. *Agronomy Journal*, 2011, 103(1): 60-66.
- [11] 张德奇,季书勤,王汉芳,等.缓/控释肥的研究应用现状及展望[J].耕作与栽培期刊,2010(3):46-48.
- [12] 周奥.我国缓控释肥料的应用研究和发展建议[J].磷肥与复肥,2020,35(12):16-19.  
ZHOU A. Application research and development suggestions of slow and controlled release fertilizer in China [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2020, 35(12): 16-19.

- [13] 于慧伶.“金正大”缓控释肥玉米大田示范试验效果初报[J].安徽农学通报,2011,17(8):65,67.
- [14] 仝芳,田甜,陈若君,等.缓、控释肥料的研究进展及发展对策[J].蔬菜,2014(4):22-24.
- [15] 闫湘,金继运,何萍,等.提高肥料利用率技术研究进展[J].中国农业科学,2008,41(2):450-459.  
YAN X, JIN J Y, HE P, et al. Recent Advances in Technology of Increasing Fertilizer Use Efficiency [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(2): 450-459.
- [16] 邹菁.绿色环保型缓释/控释肥料的研究现状及展望[J].武汉化工学院学报,2003,25(1):13-17.  
ZOU J. Prospects and present status of green and protecting environmental fertilizer slow/controlled release fertilizer [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2003, 25(1): 13-17.
- [17] 翟彩娇,崔士友,张蛟,等.缓/控释肥发展现状及在农业生产中的应用前景[J].农学学报,2022,12(1):22-27.  
ZHAI C J, CUI S Y, ZHANG J, et al. Development Status of Slow/Controlled Release Fertilizers and Their Application Prospects in Agricultural Production [J]. Journal of Agriculture, 2022, 12(1): 22-27.
- [18] 谢春生,唐拴虎,徐培智,等.一次性施用控释肥对水稻植株生长及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(2):177-182.  
XIE C S, TANG S H, XU P Z, et al. Effects of single basal application of controlled-release fertilizers on growth and yield of rice [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2006, 12(2): 177-182.
- [19] 胡雪荻,耿元波,梁涛,等.缓控释肥在茶园中应用的研究进展[J].中国土壤与肥料,2018(1):1-8.  
HU X D, GENG Y B, LIANG T, et al. The progress of controlled-release fertilizer applied in tea garden [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(1): 1-8.
- [20] 宋旭燕,罗鹤松,杨帅,等.生物炭基缓释肥的制备及其对土壤理化性质的影响[J].环境监测管理与技术,2023,35(1):48-50.  
SONG X Y, LUO H S, YANG S, et al. Preparation of Biochar Based Slow-release Fertilizer and Its Effect on Soil Physicochemical Properties [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2023, 35(1): 48-50.
- [21] 张明伟,马泉,陈京都,等.缓控释肥在冬小麦上的应用研究进展及展望[J].江苏农业科学,2022,50(2):15-21.
- [22] 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.  
XIE P C, MA D M, ZHANG X D. The nutrient release rate and increase production of film-coated and release fertilizer [J]. Soils and Fertilizers, 2005(1): 23-28.
- [23] 石磊,陆利民.不同缓释肥对水稻生长发育和产量的影响[J].安徽农业科学,2015,43(31):131-132,139.  
SHI L, LU L M. Effects of Different Slow-release Fertilizer on Growth and Yield of Rice [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2015, 43(31): 131-132, 139.
- [24] 宋亚栋.不同缓控释肥料对小麦产量品质与养分利用效率的影响[D].南京:南京农业大学,2017.  
SONG Y D. Effects of Different Slow and Controlled Release Fertilizers on Yield, Quality and Nutrient Use Efficiency of Wheat [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
- [25] 唐拴虎,郑惠典,张发宝,等.控释肥料养分释放规律及对水稻生长发育效应的研究[J].华南农业大学学报,2003,24(4):9-12.  
TANG S H, ZHENG H D, ZHANG F B, et al. Nutrient Release of Controlled-Release Fertilizer and its Effects on Rice Growth and Development [J]. Journal of South China Agricultural University, 2003, 24(4): 9-12.
- [26] 黄翔,毕小进,陈钢,等.不同类型控释肥对辣椒生长及土壤养分和微生物的影响[J].湖北农业科学,2017,56(2):237-241.  
HUANG X, BI X J, CHEN G, et al. Effects of Different Controlled-release Fertilizers on the Growth of Pepper, Soil Nutrient and Microorganisms [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(2): 237-241.
- [27] 姜海斌,张克强,邹洪涛,等.减氮条件下不同施肥模式对稻田氮素淋溶流失的影响[J].环境科学,2021,42(11):5405-5413.  
JIANG H B, ZHANG K Q, ZOU H T, et al. Effects of Different Fertilization Patterns on Nitrogen Leaching Loss from Paddy Fields Under Reduced Nitrogen [J]. Environmental Science, 2021, 42(11): 5405-5413.
- [28] 王小治,朱建国,宝川靖和,等.施用尿素稻田表层水氮素的动态变化及模式表征[J].农业环境科学学报,2004,23(5):852-856.  
WANG X Z, ZHU J G, HOSEN Y, et al. Dynamic Changes and Modeling of Nitrogen in Paddy Field Surface Water After Application with Different Doses of Urea [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(5): 852-856.
- [29] 纪雄辉,郑圣先,聂军,等.稻田土壤上控释氮肥的氮素利用率与硝态氮的淋溶损失[J].土壤通报,2007,38(3):467-471.  
JI X H, ZHENG S X, NIE J, et al. Nitrogen Recovery and Nitrate Leaching from a Controlled Release Nitrogen Fertilizer in an Irrigated Paddy Soil [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(3): 467-471.
- [30] 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.  
DING Z L, LI Y, JIANG X, et al. Effects of Different Proportions of Slow release Fertilizer on Nitrogen and Phosphorus Loss from Surface Runoff and Soil Nutrients in Peach-Soybean Intercropping System [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(3): 301-305.
- [31] 姜海斌,张克强,沈仕洲,等.洱海流域减氮施肥条件下水稻产量和土壤剖面氮磷变化特征[J].植物营养与肥料学报,2022,28(1):23-32.  
JIANG H B, ZHANG K Q, SHEN S Z, et al. Rice yield and nitrogen and phosphorus changes in soil profile under different fertilization strategies in Erhai Lake Basin, Yunnan [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(1): 23-32.
- [32] 刘金,李进平,涂书新,等.几种缓释钾肥对烤烟钾含量及产量产值的影响[J].中国烟草科学,2014,35(3):17-22.  
LIU J, LI J P, TU S X, et al. Effect of Slowly-released Potassium Fertilizers on Potassium Content and Yield of Flue-cured Tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2014, 35(3): 17-22.