

内部加固型缓释复合肥料制备及其推广应用

李庚申

(中国台湾省台北市内湖路三段72巷61号6楼)

[摘要] 缓释肥料主要分为3大类: 非穿透性保护膜型缓释肥、树脂包膜型缓释肥及非包膜的内部加固型缓释肥。阐述TVA改良式工艺生产内部加固型缓释复合肥的机制, 介绍特殊设计的埋床式管状反应器及其与悬空式管状反应器在节能方面的对比, 并进行肥效验证, 为内部加固型缓释复合肥推广应用提供建议。

[关键词] 缓释复合肥料; 内部加固型; 埋床式管状反应器; 节能对比

[中图分类号] TQ449 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 05-0053-04

Production of internally reinforced slow-release compound fertilizer and its promotion and application

LI Gengshen

(6th Floor, No. 61, Lane 72, Section 3, Neihu Road, Taipei City, Taiwan Province, China)

Abstract: Slow-release fertilizers are mainly classified into three categories: Non-penetrating protective film type slow-release fertilizers, resin-coated type slow-release fertilizers and non-coated adducts type slow-release fertilizers. The mechanism of TVA's improved process in producing adducts slow-release compound fertilizers is elaborated, and the specially designed buried tubular reactor and its comparison with the suspended tubular reactor in terms of energy conservation are introduced. And fertilizer efficiency verification is conducted, suggestions for the promotion and application of internally reinforced slow-released ampound fertilizer are provided.

Key words: slow-released compound fertilizer; internally reinforced type; buried bed tubular reactor; energy conservation comparison

0 引言

中国台湾省的NK厂于1976年在台北市建成, 开始正式生产供应台湾省中部以北的农民施肥之用。NK厂复合肥上市中期, 也向台湾省南部的农业县市扩销, 但因施肥后1~2月仍然颗粒分明, 被南部农民误会为假肥料, 很长一段时间打不开销路。直到1994年在台湾省南部针对NK厂的一号复合肥(20-5-10)与他厂速溶一号复合肥(20-5-10)进行水稻田间试验, 稻子成熟时, 使用NK厂一号复合肥的水稻田产量较他厂速溶一号复合肥的产量多, NK厂复合肥的销量才多起来。台湾省南部田间试验使农民认识到缓释复合肥料的好处, 并使NK厂复合肥工艺获得机会参与越肥公司复合肥投资计划。

越肥公司复合肥投资计划(VINAFERT Project)在建厂之前, 由台湾省的NK厂先行生产16-16-8配方复合肥10 t, 与越南进口16-16-8配方复合肥

(品牌为Phiphos)一起由湄公河三角洲稻米研究所进行田间试验, 结果表明, NK厂复合肥一次施肥可抵Phiphos复合肥数次施肥, 水稻及早田作物皆收成较佳, 是一进步工艺的复合肥, 值得大力推广应用。

综上所述, 农民喜欢复合肥颗粒漂亮的外观及速溶才有效的误解是目前复合肥发展待解决的问题, 急需各相关从业者及部门通力合作来解决。不知是复合肥厂家在较容易的颗粒外观下功夫, 或是经销商误导, 海峡两岸的农民多以颗粒外观及是否易散、易溶于水的偏见来选购复合肥。不但浪费生产资源, 收成差, 且多污染水资源。农民的误解只有靠田间试验及成果发表来纠正, 以及降低生产成本、降低售价鼓励农民开始购用颗粒状缓释复合

[收稿日期] 2025-03-29

[作者简介] 李庚申(1944-), 男, 中国台湾省台北人, 从事复合肥料生产、研究工作。

肥，使农民亲身体会到使用缓释复合肥的诸多好处，才能引导他们选用颗粒状复合肥。

1 缓释复合肥料种类

肥料产业的发展呈现出生产线不断拉长、成本逐步攀升的趋势。从最初的单质肥，逐步发展到NPK (BB) 肥，再进阶至粒状复合肥，直至如今对粒状复合肥外观美化的追求。这一过程不仅反映了技术的迭代，也体现了市场需求的升级。

理想的颗粒状复合肥应具备多重优势，包括有效避免成分分离、防止储存结块、便于施肥操作、提升肥效，同时还能实现成本控制。鉴于NPK (BB) 肥存在诸多缺陷，且粒状尿素与磷肥混合时会出现潮解现象，美国田纳西河流域管理局(TVA) 于1957年研发了化学制粒工艺生产粒状复合肥(见图1)。该工艺初期流程精简，过筛得到的粗粒经打碎、再次过筛后，合格成品直接包装出售，无需返回造粒机重新造粒，体现了早期粒状复合肥注重实用性和成本控制，而非外观的特点。随着现代农业机械施肥的普及，为避免不规则颗粒在施肥过程中造成架桥堵塞，如今已将打碎后的物料重新回流至造粒机，以生产出更符合机械施肥要求的颗粒。

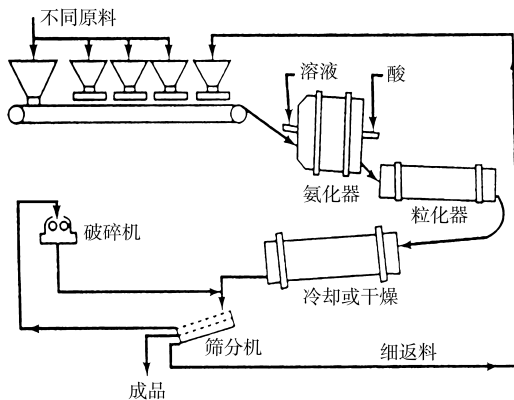


图1 TVA 粒状复合肥生产工艺

Fig. 1 Production process of TVA granular compound fertilizer

缓释复合肥料以图2所示的这3种为主，右上方的这种是在复合肥成粒以后，再在粒子外面裹上一层非穿透性的外壳，使肥料粒子不直接与水接触而达到养分缓释的效果，名为非穿透性保护膜型缓释肥；另外两种分别是树脂裹包膜型缓释肥及非裹包膜的内部加固型缓释肥。现在分别介绍如下。

1.1 非穿透性保护膜型缓释肥

包硫尿素是20世纪60年代美国TVA所开发出来的。20世纪60年代早期为减缓尿素氮流失，有人提出在尿素颗粒外面裹上一层硫黄，实现对氮的

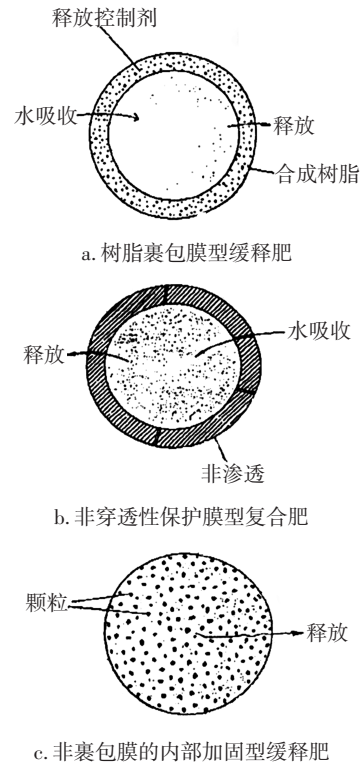


图2 3种缓释肥料

Fig. 2 Three kinds of slow-released fertilizers

缓慢释放。

1.2 树脂裹包膜型缓释肥

(1) 尿素甲醛树脂裹包的复合肥是此类最具代表性的缓释肥之一。甲醛本身是无色呛鼻具有毒性的气体，好在它可溶于有机、无机溶剂内。因此市场上有各种不同浓度的含尿素甲醛的水溶液可用。

(2) 聚氨酯树脂裹包的复合肥是聚合物涂层用来产生缓释肥保护膜的一类代表性的技术，其采用包膜技术，在肥料颗粒表面制备一层缓控释膜，利用膜层将高浓度养分与土壤分隔开来，膜层具有的孔隙结构还可以控制养分按一定速率释放。

1.3 内部加固型缓释肥

内部加固型缓释肥是某一成分分子嵌进某些其他成分的晶格内，亦或某些成分分子嵌进某些其他成分的晶格内彼此互相纠缠；此纠缠大部分来自热力及压力，另一方面来自物质间表面化学反应的化学键。此内部加固体的表面晶格被水溶解破坏后，其所嵌着的成分也就被释放，所以说内部加固型缓释肥是从最外层向内层核心一路破坏晶格缓慢释放出养分。

肥料淋失测试结论：

(1) 内部加固型缓释肥刚从制程出来未经圆熟只有5%的尿素被加固，经一天圆熟尿素被加固量

可以增加至88%，经2 d圆熟尿素被加固量可以增加至95%。

(2) 内部加固型缓释肥，开始冷却时的温度越高，其在翻滚冷却过程的时间越长，100 h的肥料淋失测试中发现，养分被淋失的愈少。此发现也证实了本节一开始探究内部加固型缓释肥所提及的热力因素，也就是说加固型缓释肥在生产时，操作温度愈高，缓释性就越好。

2 TVA改良法的内部加固型缓释复合肥

2.1 加固型缓释复合肥配方原理

TVA改良法工艺所生产的加固型缓释复合肥属于惰性物质（白色部分，如过磷酸钙、砂壤土、黄土等）填充在含有效N、P、K成分的颗粒间。其缓释性来自设计配方混合好的含有惰性物质的固体原料，在氨化造粒机内藉由特殊设计的埋床式管状反应器与硫酸、氨部分反应所产生的各固体物料颗粒间的黏结，及固体料通过硫酸与氨反应区的高温熔化及碾压，使惰性物质的晶架与养分颗粒晶架纠缠在一起，形成紧密坚硬的圆形粒状复合肥。该颗粒状复合肥耐水冲刷、不易崩解、成分不易流失，故养分具有缓释效果，不需再加裹包缓释层。TVA改良法工艺所生产的加固型缓释复合肥与水接触时，颗粒最外层有效N、P、K成分先行溶出供应植物根毛吸收，当颗粒附近溶液N、P、K养分浓度降低时，里层的有效N、P、K养分再行溶出，视植物根毛吸收需要适时释出N、P、K养分，直到全部有效N、P、K养分溶出后，就只剩下如蜂窝般的惰性物质的外壳，不浪费养分，不被雨水冲刷而污染水源，也不遗留会污染土壤的物质，有利于生态保护。农民使用TVA改良法的内部加固型缓释复合肥，因肥效持久，所以用肥量就不像以前使用速溶复合肥那么多。根据湄公河三角洲稻米研究所田间试验报告，TVA改良法工艺（台湾省NK厂工艺）的缓释复合肥肥效有40 d之久。台湾省林务局曾经委托NK厂生产过一批大颗粒氨化磷肥供应其林区的森林施肥。

2.2 加固型缓释复合肥工艺对比

藉由特殊设计的埋床式管状反应器在氨化造粒机内所生产出的复合肥，因配方技术及氨化造粒机的特殊构造，不需另加处理而自然具有缓释的特性，生产成本非但不比一般传统复合肥高，反而因埋床式管状反应器节能减碳降成本之高效而比一般传统复合肥来得低，有利于降价推广缓释复合肥。以年产10万t复合肥厂为例，使用埋床式管状反应

器和悬空式管状反应器的主要设备规格及代表性指标分别见表1、表2。

表1 埋床式管状反应器和悬空式管状反应器主要设备规格

项目	造粒机功率/	干燥机功率/	造粒尾气机功率/	干燥尾气机功率/
	kW	kW	kW	kW
普通复合肥厂	120	250	150	300
NK厂	37	74	14	147

表2 埋床式管状反应器和悬空式管状反应器代表性指标

项目	吨产品动力	吨产品	吨产品	日产	颗粒
	消耗/(kW·h)	燃料消耗/kJ	蒸汽/kg	量/t	强度/N
埋床式管状反应器	16	56 458.77	0~7	600	36
悬空式管状反应器	62	915 445.79	87	580	23

由表1可以看出，普通复合肥工厂各主要设备的设计能力多为NK厂的2倍以上，以NK厂实际的生产经验，此类普通复合肥工厂应可提高产量到1 000 t/d，若销售没问题，则每年可增加较多的营业额。

以NK厂使用埋床式管状反应器降低生产成本的的经验，若中国大陆类似厂的悬空式管状反应器改为埋床式管状反应器，每吨可节省生产成本214.28元。每吨可节省生产成本214.28元分享给经销商及农民，则缓释复合肥料的推广在田间试验的实证下，其成功具有相当高的可行性。

2.3 加固型缓释复合肥肥效验证

TVA改良法工艺（台湾省NK厂工艺）的内部加固型缓释复合肥缓释性验证：台湾省南部田间试验证明，使用NK厂一号复合肥的水稻田产量较他厂速溶的一号复合肥的产量高；越肥计划（VINAFERT Project）湄公河三角洲稻米研究所田间试验报告，说明NK厂复合肥一次施肥可抵Phiphos复合肥数次施肥，肥效长达40 d。水稻及早田作物产量较佳。

以上二者田间试验显示NK厂复合肥是缓释肥料，其优点：养分缓释，肥效好，耐水，不污染水资源，省工，值得推广。

3 内部加固型缓释复合肥料推广

内部加固型缓释复合肥料推广必须要靠田间试

验及成果发表倡导,才能引导农民使用颗粒状复合肥的观念。若能降低售价及提高经销商佣金,缓释复合肥料的推广能事半功倍。降低售价及提高经销商利润都需要靠生产工厂降低生产成本。若悬空式管状反应器改为埋床式管状反应器,能降低生产成本,每吨节省214.28元以上,不但能降低售价及提高经销商佣金,生产工厂自己也能提高利润。

3.1 构建利益共享机制,激活推广动能

建立“产-销-农”三方共赢的利益共同体,是实现复合肥高效推广的关键。只有生产出兼具价格优势与卓越品质的产品,才能形成市场竞争力,推动产业良性发展。当生产者降低成本、销售者获取利润、农户收获增产效益时,推广工作自然事半功倍。

3.2 优质复合肥的核心要素解析

1) 成本控制体系。

(1) 拓宽原料选择:通过多元化原料采购渠道,突破单一依赖,利用市场供需差异降低采购成本。

(2) 精准配方设计:依据原料及养分元素月度价格波动表,动态调整配方,实现最低成本投入,同时满足不同作物的营养需求。

(3) 制程效率提升:采用先进生产工艺,减少生产过程中的原料损耗与养分流失,从源头控制成本。

(4) 变动成本管理:优化能源使用结构,采用节能设备与技术,降低动力、燃料及蒸汽消耗,压缩生产环节的能源开支。

(5) 固定成本控制:精简工艺流程,缩短生产制程,减少设备投资与基建成本,提高资金使用效率。

(6) 设备升级改造:基于现有生产线进行智能化、自动化升级,在低成本投入下实现产能与品质的双提升。

2) 产品性能优势。

(1) 长效缓释特性:通过特殊工艺实现颗粒缓溶、养分缓释,延长肥效周期;结合测土配方技术,定制符合不同农田土壤特性的NPK配比,确

保养分精准供给,提升肥料利用率。

(2) 机械适用性强:优化颗粒物理性能,增强产品流动性,使其适配各类农业机械,满足现代农业规模化、机械化施肥需求。

3.3 科学推广路径:以试验数据夯实信任基础

1) 前期探索验证。企业自主开展盆栽试验或小型田间试验,初步验证产品肥效,积累数据支撑,为后续大规模推广提供参考依据。

2) 权威背书与成果发布。委托专业的农业科研机构(如农业改良场、土壤肥料工作站)开展系统性田间试验,借助其公信力增强产品说服力。组织召开成果发布会,邀请经销商、农业管理部门及农户代表参与,通过现场展示、数据解读与经验分享,全面推广产品优势,建立市场信任,推动产品快速落地。

4 结论

TVA改良法所生产的缓释复合肥属于专利工艺中的内部加固型缓释肥,其所使用的原料本身就含有惰性物质,其晶架可以和水溶性肥料分子晶架嵌合在一起,不必另外准备合成树脂及物料供包膜之用,不增加原物料成本。液体原料中 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 98%的浓硫酸与氨加料比调节灵活,可与其他固体原料产生表面部分化学反应,也将所有的原料牵绑在一起,并经过氨化造粒机内部埋床式管状反应器高温熔化及特殊装置碾压,形成坚固结实的颗粒,达到耐水、缓溶、长效的目的。

包膜型缓释肥不管是非渗透性的裹硫或是合成树脂包膜,皆需另行准备涂膜用的主、副料,其量每年高达几万吨,加上供裹包过程中加热所需的燃料,除了增加包膜型缓释肥的生产成本外,更为甚者,硫黄、聚合物及共聚合物皆含有机溶剂,具有污染环境及易燃的危害。因此基于TVA改良法工艺(台湾省NK厂工艺)所生产的内部加固型缓释复合肥显示有良好的效果,充分证明其复合肥实用的缓释性及长效性,所以建议采用TVA改良法内部加固型缓释复合肥生产工艺,为新计划所生产的复合肥取得缓释功能。