

文章编号:1674-2869(2017)06-0557-08

无机包裹型缓释复合肥料及其产业化应用

王好斌¹,侯翠红^{1*},王艳语¹,苗俊艳¹,许秀成¹,李荫萍¹,郭建文²

1. 郑州大学化工与能源学院,河南 郑州 450001;2. 济南乐喜施肥料有限公司,山东 济南 250000

摘 要:无机包裹型缓释复合肥料以颗粒状氮肥(尿素、硝铵)为核心,采用枸溶性磷肥或含有植物营养成分的固体缓释剂作为包裹材料,通过改变不同肥料的空间结构及化学组成,实现氮、磷的缓慢释放,生产过程产生的化学能可将系统中的水分干燥,实现无干燥生产.产品同时含丰富的磷、钙、镁、硅、氮/钾等元素,是一种含多种营养成分的功能性复合肥料.通过改变包裹工艺及配方可对养分含量及缓释性能进行调整,也可加入植物生长调节剂、除草剂、杀虫剂、杀菌剂等,实现肥料的功能化.通过在玉米、水稻、小麦上的试验表明,包裹型缓释复合肥料可以提高肥料利用率,持续有效地向作物供肥 90 d~120 d,减少常规施肥量 20%~30%,无需追肥,仍能达到一定的增产效果.这种产品具有生产成本低、缓释性适中、养分全面、环境友好等特点,表现出明显的经济效益.

关键词:无机包裹肥料;缓释肥料;肥料利用率;产业化

中图分类号:TQ444.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2017.06.006

Inorganic Coated Controlled Release Compound Fertilizer and Industrialized Application

WANG Haobin¹, HOU Cuihong^{1*}, WANG Yanyu¹, MIAO Junyan¹, XU Xiucheng¹, LI Diping¹, GUO Jianwen²

1. School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Jinan LUXECOTE Fertilizer Co., LTD, Jinan 250000, China

Abstract: Inorganic coated controlled release compound fertilizer (ICCRCF) is a kind of fertilizer using granular nitrogen fertilizers (such as urea, ammonium nitrate) as the core, and using citric-soluble phosphate or solid slow-release agents containing phytonutrients as coating layer. It can achieve the slow-release of nitrogen and phosphorus. The release rate was controlled by adjusting the structure of various fertilizers and the chemical composition. The chemical energy generated in the process can dry the water in the system, making no-dry-section production. It is also a kind of functional compound fertilizer containing a variety of nutrients such as phosphorus, calcium, magnesium, silicon, nitrogen, potassium. The nutrients content and release performance of the fertilizer can be adjusted by changing the coating process and formulation, and the fertilizer achieves multifunctions by adding the plant growth regulator, herbicides, insecticides and fungicides. The experimental results of maize, rice and wheat indicated that ICCRCF could improve the fertilizer utilization efficiency. Compared with the traditional fertilization, the continuous nutrient supply period of this ICCRCF can be up 90 d~120 d, reducing fertilization rate by 20%~30% and without top-dressing. And the yield of crops still keeps increasing. The product exhibits obvious economic benefits with the advantages of low-cost, moderately controlled release, comprehensive nutrient and environmental-friendliness.

Keywords: inorganic coated compound fertilizer; controlled release fertilizer; fertilizer efficiency; industrialization

收稿日期:2016-12-29

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0200401)

作者简介:王好斌,学士,高级工程师. E-mail: hb-wang@zzu.edu.cn

*通讯作者:侯翠红,博士,教授. E-mail: hch92@zzu.edu.cn

引文格式:王好斌,侯翠红,王艳语,等. 无机包裹型缓释复合肥料及其产业化应用[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(6):557-564.

WANG H B, HOU C H, WANG Y Y, et al. Inorganic coated controlled release compound fertilizer and industrialized application[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(6): 557-564.

据《2016中国统计年鉴》数据,2015年我国共消费化学肥料(折纯)6 022万吨,化肥施用量占世界第一位;2014年我国化肥单位耕地施用量为世界平均水平的462%。我国化肥施用量过高已成为不争的事实^[1-2]。

过量施用化肥将引发一系列的问题,首先是化肥资源的过度消耗,化学肥料的原料均为不可再生的自然资源,过快消耗必将引起资源的过早枯竭,是不可持续的,其次,过量施用化肥必然导致肥料利用率低下,不被作物吸收的化学养分流失于自然环境,产生环境污染,有关资料表明,过量施用化肥对面源污染的贡献率达40%以上,再者,过量且不平衡的施肥,引发农产品品质的下降^[3]。

这些问题已引起国家的高度重视,2015年农业部公布了《到2020年化肥、农药使用量零增长行动方案》,十三五国家重点科技研究计划也将化肥农药减施作为重点研究方向。

化肥减施是在保证农作物产量不下降的条件下,减少化肥的施用量,从化肥的生产、应用不同的途径有不同的技术方案。缓释肥料作为一种高利用率肥料,在化肥减施技术路线中有重要作用^[4-5]。

缓释肥料的开发起步于发达国家,距今已超过半个世纪的历史,产品主要用于高端非农业领域。我国缓释肥的研究起步较晚,但近二十年来,发展十分迅速,产能产量迅速扩大。目前我国缓释肥料的实际产量已超过300万吨/年,为减少化肥施用量做出了贡献。但我国缓释肥料的发展还存在很多不足,在肥料的消费量中所占比例还很少,究其原因,笔者认为有以下几方面的原因。

首先是生产成本较高,农户接受度较低;其次是农化效果表现不均衡,农户信任度不高,这可能与推广应用研究不足有关,也可能与市场问题有关,也与粮食价格过低有关。但尽管存在问题,也不能否认缓释肥料是化肥减施的有效路径和措施^[5]。

1 无机包裹型缓释复合肥料特点

无机包裹型缓释复合肥料(inorganic coated controlled release compound fertilizer, ICCRCF)是郑州大学独创的一种缓释肥料技术路线,采用以肥料包裹肥料的工艺思路,通过改变不同肥料的空间结构及化学组成,而形成的一种具有缓释功能的复合肥料^[5]。获中国、美国发明专利^[6-8],国家技术发明奖,制定了国家化工行业标准无机包裹型复混肥料(复合肥料)^[9],并列为复合肥生产许可证

实施细则中的产品单元。

1.1 ICCRCF的概念

包裹型缓释复合肥料(coated controlled release compound fertilizers, ICCRCF)是一种或多种植物营养物质包裹另一种植物营养物质,而形成的植物营养复合体。ICCRCF包括:ICCRCF I型产品,以钙镁磷肥为主要包裹缓释材料,是一类具有适度缓效性的、低成本的、含有多种中微量元素功能性复合肥料产品^[6];ICCRCF II型产品,是以二价金属磷酸铵钾盐(如磷酸铵镁)为主要缓释包裹材料的ICCRCF,其缓释性能与I相比有大幅度提高,具有较好的缓释性能,对多数大田作物可实现一次性施肥,产品中含较高的中量元素养分^[7]。II型产品也广泛应用于高尔夫球场、景观草坪、花卉园艺等高价市场。

1.2 ICCRCF的生产工艺与缓释机理

ICCRCF采用肥料包裹肥料的工艺原理,主要目标是实现氮肥的缓释,以颗粒状氮肥(尿素、硝酸铵)为核心,采用枸溶性磷肥或含有植物营养成分的固体缓释剂作为包裹缓释材料,固体缓释剂与含有植物营养成分的反应性液体黏结剂,在包裹过程产生化学反应,生成细小的水不溶性化合物,从而形成致密的包裹层,实现氮肥的缓释;同时,这种水不溶性化合物也是一种植物营养物质,含有丰富的磷、镁、氮/钾,它可以被植物根系分泌的弱酸所溶解而为植物所吸收,是一种枸溶性肥料。通过改变包裹工艺及配方可对其缓释性能进行调整。包裹过程中产生的化学能可将系统中的水分干燥,实现无干燥生产。ICCRCF的原料工艺流程如图1所示:

ICCRCF采用无机材料作为缓释包裹层,为亲水性物质,与传统有机聚合物包膜材料相比,水分更容易穿透包裹层而溶解核心氮肥,更适合于大田作物使用。ICCRCF在水中的累计溶出率曲线如图2所示。

由图2可知,ICCRCF中的氮在水中48 h可溶出90%左右,普通复混肥料中的氮通常会在5 min之内全部溶解,说明ICCRCF具有较好的缓释性能。尽管和聚合物包膜尿素初期溶出率相比高了很多,但在大田环境下,考虑到土壤的吸附、缓冲作用,产品中的氮在48 h内缓慢进入土壤,可大幅度提高土壤对氨离子的交换量,而被土壤交换的氮,存储于土壤中可减少流失,缓慢供应作物吸收。应用ICCRCF多年的效果,也证明了它可持续向作物有效供应养分90 d~120 d^[10]。

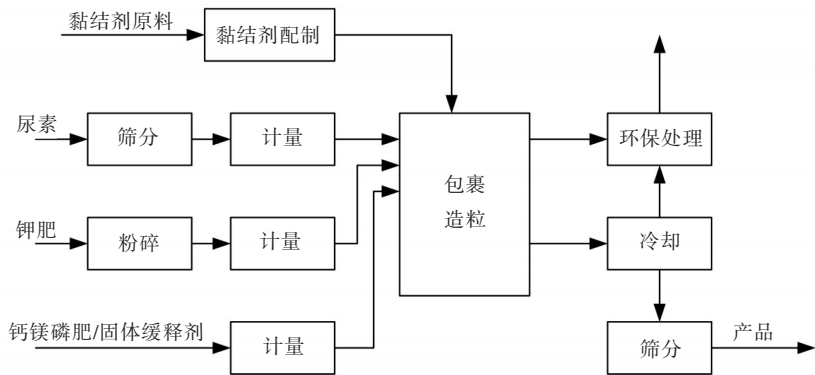


图1 无机包裹型缓释复合肥料工艺流程
Fig. 1 Technological process of ICCRCF

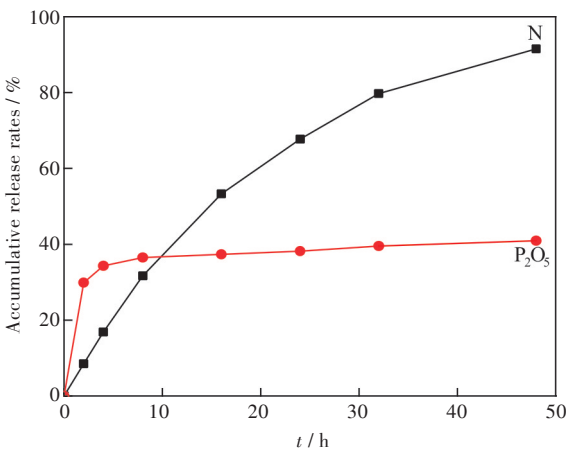


图2 无机包裹型缓释复合肥料养分溶出曲线
Fig. 2 Nutrient release rate of ICCRCF

其中磷的形态有2种,所含水溶性磷包裹在产品最外层,溶出较快,可满足作物前期需求;大部分磷以枸溶形态存在,在水中较难溶解,需由作物根系分泌的弱酸溶解吸收,利用率高。

1.3 无机包裹型缓释复合肥料的特点

ICCRCF作为新型缓释肥料产品,在技术和产品上体现出与传统包膜缓控释肥料不同的特点,主要表现在下面几个方面。

1.3.1 完全植物营养 ICCRCF采用的包裹材料均为植物营养物质,通过改变不同特性肥料的空间结构及利用原料之间的化学反应,实现核心氮肥的缓释功能,磷作为缓释材料和配方成分,也具有缓释性。

CCRCF产品中,无人加入任何有机聚合物,产品的所有元素构成均为植物必需的营养元素。包裹肥料的产品结构示意图如图3所示,表1为无机包裹肥料养分结构分解,同时含有多种中微量元素,使产品的养分更全面均衡^[7,11]。

1.3.2 均一的释放特性 聚合物包膜缓控释肥料,以有机高分子材料作为包膜层,产品强调缓释



图3 无机包裹缓释复合肥料产品结构原理示意图
Fig. 3 Schematic diagram of structure and principle of ICCRCF

注：P1——Urea core；2——Luxecote compound—— $x\text{MgO}y\text{CaO}z\text{SiO}_2m\text{NH}_3\text{P}_2\text{O}_5n\text{K}_2\text{O}$ ；3——Slightly soluble nutrient*——NPK and Mg Fe Zn；4——Trace soluble nutrient**—— $x\text{MgO}y\text{CaO}z\text{SiO}_2$
* The solubility of <300 mg/L in water is defined as slightly soluble
** The solubility of <10 mg/L in water is defined as trace soluble

性能,要求初期释放率低,在向终端用户供应时,通常要掺入较多数量的普通肥料,以掺混肥料的形态出现,来满足作物前期的养分需求^[12-13]。

如前文所述,ICCRCF前期释放率较高,且在生产过程中完成了复合化,以作物专用复合肥的形式供应终端用户,不需与其他任何肥料掺混,即可满足作物的需肥要求,尤其适合大田作物施用^[10]。

包裹肥料每粒产品中均含有不同形态的主要营养元素及中量元素养分,每粒肥料均具有相同的释放性能及养分构成,避免了掺混肥料在运输和施肥过程中养分偏离问题。

表 1 无机包裹缓释复合肥料养分结构分解
Tab. 1 Nutrient structure decomposition of ICCRCF

位置	原料		组分分解	
location	raw materials		component decomposition	
核心	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$		2NH_3	$\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$
	$2\text{MgNH}_4\text{PO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2MgO	$2\text{NH}_3, \text{P}_2\text{O}_5$	$13\text{H}_2\text{O}$
	$2\text{FeNH}_4\text{PO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$	2FeO	$2\text{NH}_3, \text{P}_2\text{O}_5$	$3\text{H}_2\text{O}$
内层	$2\text{ZnNH}_4\text{PO}_4$	2ZnO	$2\text{NH}_3, \text{P}_2\text{O}_5$	H_2O
	$2\text{MnNH}_4\text{PO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$	2MnO	$2\text{NH}_3, \text{P}_2\text{O}_5$	$3\text{H}_2\text{O}$
	$2\text{MgKPO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2MgO	$\text{P}_2\text{O}_5, \text{K}_2\text{O}$	$12\text{H}_2\text{O}$
	$2\text{CaKPO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$	2CaO	$\text{P}_2\text{O}_5, \text{K}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{O}$
	Luxe complex	$x\text{MgO}\cdot y\text{CaO}\cdot z\text{SiO}_2$	$\text{MNH}_3, \text{P}_2\text{O}_5, n\text{K}_2\text{O}$	
外层	MgO	MgO		H_2O
	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	MgO		CO_2
	MgCO_3	MgO		
		$\text{Ca, Mg, Si, Zn, Fe, Mn}$	N, P, K	C, H, O

1.3.3 同步实现产品的缓释化和复合化 ICCRCF 在实现核心氮肥缓释功能的同时,也实现了产品的复合化,即缓释肥的生产过程和复合肥的生产过程合二为一,简化生产过程,节约了生产成本。

而传统的包膜缓释肥料将尿素进行包膜,然后与磷肥或钾肥或普通复合肥进行掺混,得到缓释复合(混)肥料,向用户供应,或生产出一定养分配比的氮磷钾复合(混)肥料,再用聚合物进行包膜形成缓控释复合肥料^[14-15]。

1.3.4 实现无干燥生产工艺 包裹肥料生产过程中,充分利用原料间的化学反应能,实现生产过程中无干燥,节约能源. 部分类型的产品由于原料配比及原料选型的不同,可能需要轻度的干燥,但相比普通复混肥料生产过程,干燥负荷大幅度降低。

1.3.5 便于肥料功能的扩展 包裹肥料的生产条件温和,包裹层占产品原料的比例较高,根据需要可在包裹层的不同位置加入植物生长调节剂、除草剂、杀虫剂、杀菌剂等,实现肥料的功能化,降低农业生产过程中的劳动力成本。

2 ICCRCF 产业化及产品应用效果

ICCRCF 自 1983 年开始研发,已超过 30 年的历史,已有国内外多家企业进行实施. 济南乐喜施肥料有限公司是目前最大的 ICCRCF 生产企业,在实施过程中对生产工艺、原料不断进行优化,单线实现 10 万吨的生产能力。

I 型包裹肥料的肥效试验是在包裹肥料列入国家“七五”重点科技攻关项目时,由原化工部科技局作为单独项目委托中国农业科学院土壤肥料研究所进行,由该所王少仁副研究员、夏培桢农艺

师主持,在山东陵县、江西赣州、四川绵阳及山西等地布点,对不同作物进行了肥效对比试验,并采用 N¹⁵ 同位素示踪技术,对氮肥的利用率进行了测定. 证明 I 型包裹肥料的氮肥利用率比同等养分混合肥料提高 7.74%. 连续两年在不同作物上的实验证明,同等养分情况下,包裹肥料 I 型产品增产幅度在 4.76% ~ 32.9% 之间^[16-17]。

II 型包裹肥料自 1995 年开发,前期产品主要供应国外市场,用于高尔夫球场草坪、市政草坪等非农业市场,美国分销商在美国不同地区进行了大量的应用试验,证明其产品的缓释缓性能及施肥效果达到甚至超了当时美国同类市场中主流产品的效果,并在美国高尔夫用肥市场连续多年销售,产品同时销往澳大利亚、日本、东南亚等国家和地区,证明了该产品的优良肥效,累计出口近万吨。

II 型包裹肥料产品在销往国外的同时,面向国内大田作物进行了不断的肥效试验和推广应用^[18-19],2008 年起,济南乐喜施肥料有限公司对 II 产品进行了产业化,产品推广应用至东北、华北、华中多个省份,表现出了明显的节肥及增产效果,针对不同作物的情况如下。

2.1 玉米上的肥效

1997 年在河南某农场进行 6.7 公顷夏玉米的试用,总养分施入量为常规施肥的 2/3,其中氮肥施用量仅为常施肥的 40%,按当年肥料价格,肥料费用比常规施肥高 93 元/公顷,但节约中期追肥费用 120 元/公顷,玉米产量比常规施肥增加 9.6%^[20](如表 2 所示). 与施用常规化肥的传统施肥方式比较,缓释复混肥料可作为基肥一次性使用,故其具有省工省时和环境友好的特点^[21]。

表2 夏玉米施用Ⅱ型CCRCF的肥效对比

Tab. 2 Fertilizer efficiency comparison of type II CCRCF and conventional fertilization on summer maize

	基肥量 basic fertilizer / (kg/ha)	追肥量 topdressing / (kg/ha)	总养分量 total nutrient / (kg/ha)	成本 RMB / (yuan/ha)	产量 yield / (kg/ha)
常规施肥	urea 150 DAP 75	urea 375	N 255 P ₂ O ₅ 34.5	1 251	5 445
乐喜施缓释肥	510		N 102 P ₂ O ₅ 40 K ₂ O 51	1 224	5 970

2009年起,济南乐喜施肥料有限公司Ⅱ型产品在东北地区(吉林、辽宁、黑龙江)用于春玉米的施肥,推荐施肥量为当地常规施肥量的80%,表现出良好的肥效,在东北及华北地区的玉米施肥中大批量应用至今,持续表现出优良的肥效,在东北地区年销售产品2万吨以上.

2012年济南乐喜施肥料有限公司在辽宁省朝阳市建平县喀喇沁镇进行了241.5公顷春玉米的膜下滴灌一次施肥推广示范,亩施Ⅱ型产品40 kg(合总养分18.4 kg),实现平均产量13 500 kg/ha.而当地农民习惯施肥以20 kg磷酸二铵作基肥,25 kg尿素作追肥(合总养分24.3 kg),平均产量9 750公斤/公顷.

2013年起,在河北省夏玉米上推广密植减肥

应用推广应用,每亩施用Ⅱ型产品40 kg,与当地农民习惯施用普通复合肥料60 kg~70 kg相比,增产幅度达5%~15%.

2.2 水稻上的应用效果

1999年,中国科学院南京土壤研究所谢建昌研究员在江苏粟阳进行了水稻的肥效试验,试验结果表明,施用包裹型缓控释肥料,氮、磷、钾的肥料利用率分别比常规施肥提高12.82%、7.5%、17.06%.在肥料养分用量为常规施肥2/3的情况下,达到了相近似的产量,表明Ⅱ型为包裹型缓控.

2007年,出口马来西亚的Ⅱ型ICRCF用于水稻生产,减少了施肥量,并提高了产量,表3为马来西亚经销商提供的数据.

表3 Ⅱ型包裹缓释复合肥料在马来西亚水稻大田应用情况

Tab. 3 Field application of type II CCRCF on rice in Malaysia

	施肥量 fertilization rate/ kg	m(氮) m(N) / kg	m(五氧化二磷) m(P ₂ O ₅) / kg	m(氧化钾) m(K ₂ O) / kg	产量 yield / kg
常规施肥	urea 200				
	15-15-15 250	159.5	67.5	80.0	10 300
	12-12-17 250				
	20-6-10 200				
无机包裹肥料	urea 100	98.0	24.0	37.0	10 450
	12-12-17 100				

马来西亚农户的耕地是以块为单位计算的,每块地面积约为1.2公顷,表3的数据是每块地的用肥量及产量情况.

可以看出,总养分施入量仅为常规施肥的52%,产量仍比常规施肥略高.

2015年起,济南乐喜施肥料有限公司在我国水稻产区进行Ⅱ型CCRCF的推广示范工作,初步结果表明,对南方杂交水稻,实现每亩20 kg一次性全生育期施肥,产量超过当地农民习惯施肥(30 kg~40 kg复合肥+10 kg~20 kg氮肥两次追施)的水平;在直播稻上实现了ICRCF作为追肥的施

用模式,表现出明显的节肥、抗病害、省工、增产的效果.

2.3 小麦上的应用效果

冬小麦是我国的主要作物之一,由于其越冬期长,且期间气温较低,所以小麦施肥具有一定的特殊性,包裹肥料用于小麦施肥,证明其具有节约肥料,提高氮肥利用率的特性.

中国农业大学赵荣芳、孟庆锋、陈新平、张福锁等2003年在小麦上所做的试验表明,无机包裹肥料可大幅提高氮肥利用率,增加农民收益^[22].2006年,河南农业大学国家小麦工程技术研究中

心研究了肥料缓施对小麦氮素代谢及产量的影响,结果表明氮肥在缓控条件下的释放有利于小麦的氮素代谢和高产^[23].

2016年由江苏省睢宁县种子管理站惠鹏所做的小麦试验也表现了相同结果,如表4、表5所示.

表 4 不同氮肥管理方式对冬小麦籽粒产量和经济效益的影响
Tab. 4 Effects of different nitrogen management methods on grain yield and economic benefit of Winter Wheat

处理 process	不施氮 no N	传统氮素管理 Con. N	优化氮素管理 Opt. N	包裹缓释复合肥料 CCRCF
籽粒产量(风干重) / (kg/hm ²)	3 920	5 078	5 025	4 928
籽粒收入 / (yuan/hm ²)	4 076	5 282	5 226	5 125
氮肥投入 / (yuan/hm ²)	0	890	213	322
取土和施肥人力投入 / (yuan/hm ²)	0	200	600	200
纯收入 / (yuan/hm ²)	4 076	4 192	4 414	4 603
氮肥利用率 / %		19.1	72.6	61.1

表 5 无机包裹型缓释复合肥对冬小麦的产量、投入、效益分析
Tab. 5 Analysis on yield, input and benefit of Winter Wheat with ICCRCF

项目 project	常规施肥区 conventional fertilization	ICCRCF 三个处理区 3 treatments of ICCRCF		
		40 kg + urea 5 kg	50 kg	60 kg
产量 / kg	630.0	673.1	688.4	683.3
N	16	14.2	16.6	19.0
P ₂ O ₅ 施用量 / kg	6	4.8	6.0	7.2
K ₂ O	6	4.0	5.0	6.0
肥料成本 / yuan	150	138	170	202
纯收益 / yuan	1 236	1 342.8	1 344.5	1 301.26
增加效益 / yuan		106.8	108.5	65.26

注:根据每 667 m²统计

3 ICCRCF 的节能减排效果

3.1 生产过程的节能减排

ICCRCF 生产过程中充分利用肥料原料之间的化学反应,使其在核心肥料表面生成水不溶性的致密包裹层,实现了缓释的功能,同时用化学反应的反应热,实现了产品的自干燥,生产过程中不需要干燥热源,不需蒸汽,仅需动力电 35 kWh/t,生产过程综合能耗极低;

生产过程中无返料(或极少返料),无液、固体废弃物产生,少量的含尘气体经净化后达标排施,所含固相物返回生产过程,对环境无污染.

2017年实施的化工行业标准HG/T 5047—2016《复合肥料单位产品能耗限额及计算方法》^[24]规定了不同工艺复合肥料能耗的限定值、准入值及先进值,团粒法和塔式喷淋造粒工艺的先进值分别为 17 kgce/t 和 14 kgce/t,而 ICCRCF 的实测值仅为 4.5 kgce/t,仅为普通复混肥料最低能耗的 1/3,大幅

度降低了生产过程中的能耗及碳排放量.

3.2 ICCRCF 应用于农业的节能减排效果

ICCRCF 可大幅度提高肥料利用率,田间试验表明及推广应用证用,采用这种肥料与常规肥料相比可节约用肥 20%,即 100 kg 包裹型复合肥料的肥效相当于 125 kg 普通复混肥料的肥效,也就是说,农业上每应用 1 t 包裹型复合肥料,在同样产量条件下,可节约 0.25 t 普通复混肥料.

以常规配方 20-10-10 的包裹肥料进行评估,节约 0.25(0.05 t N) 吨复混肥料,仅氮肥一项,相当于节约能耗 0.073 t 标煤,减少 0.22 t 的 CO₂ 排放,如果将我国 2015 消费 6 022 万吨肥料的 10% 以 ICCRCF 替代,将可节约能耗 110 万吨标煤,减少 331 万吨 CO₂ 排放,节能减排的效果明显. 减少 20% 的化肥施用,必将大幅度减轻由于化肥流失而造成的面源污染.

综上所述,ICCRCF 可大幅度提高肥料利用率,减少肥料施用量,生产过程能耗低,对环境友好的新型肥料,是在两减条件实现化肥零增长的

有效技术和产品.

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2016 [M]. 北京:中国统计出版社,2016.

[2] 许秀成,李荫萍,王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告第三包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展(续)4中国[J]. 磷肥与复肥,2001,16(2):4-8.

XU X C, LI D P, WANG H B. A special report on coated slow/controlled release fertilizer—Part 3 A review on coated controlled release fertilizer(cont'd) (4) China [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2001, 16(2): 4-8.

[3] 侯翠红,许秀成,王好斌,等. 绿色肥料产业体系构建及其科学问题[J]. 科学通报, 2015, 60(36): 3535-3542.

HOU C H, XU X C, WANG H B, et al. Establishment of green fertilizer industrial system and its scientific problems [J]. Chinese Science, 2015, 60(36): 3535-3542.

[4] 何刚,张崇玉,王玺. 包膜缓释肥料的研究进展及发展前景[J]. 贵州农业科学,2010,38(6):141-145.

HE G, ZHANG C Y, WANG X, et al. Research progress and development prospect of coated slow-release fertilizer [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(6): 141-145.

[5] 许秀成,李荫萍,王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告第一报概念区分及评判标准[J]. 磷肥与复肥,2000,15(3):1-6.

XU X C, LI D P, WANG H B. A special report on coated slow/controlled release fertilizer—Part 1 Definitions and evaluation[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2000, 15(3):1-6.

[6] 许秀成,樊继轩,王光龙. 包裹肥料及其制造法:中国, 851010083 [P]. 1985-04-01.

[7] 李荫萍,王好斌,许秀成,等. 一种控制释放肥料:中国,95109720.2 [P]. 1995-08-17.

[8] LI D P, WANG H B, XU X C, et al. Controlled Release Fertilizer and Preparations Thereof: US, 5849060 [P]. 1996-08-09.

[9] 中华人民共和国工业和信息化部. 无机包裹型复混肥料(复合肥料)[S]. 北京:化学工业出版社,2011.

[10] 张保林. 新型缓释性复合肥料——包裹型复合肥 [J]. 化肥工业,1995,22(6):329-336.

ZHANG B L. A new type of slow-release compound fertilizer-coated compound fertilizer [J]. Chemical Fertilizer Industry, 1995, 22(6): 329-336.

[11] 李荫萍,王好斌,许秀成. 乐喜施控制释放肥料与国外同类产品的比较[J]. 磷肥与复肥, 1998(1): 59-60.

LI D P, WANG H B, XU X C. Comparison of Luxecote controlled release fertilizers with similar foreign products[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 1998(1):59-60.

[12] 陈森森,韩效钊,马友华,等. 缓释/控释包膜肥料的研究现状与发展[J]. 安徽化工,2008,34(4):18-21.

CHEN S S, HAN X Z, MA Y H, et al. The present situation and progress on the research of slow/controlled release coated fertilizers [J]. Anhui Chemical Industry, 2008, 34(4): 18-21.

[13] 杨相东,曹一平,江荣风,等. 几种包膜控释肥氮素释放特性的评价[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):501-507.

YANG X D, CAO Y P, JIANG R F, et al. Evaluation of nitrogen release characteristics of several coated controlled release fertilizer [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2005, 11(4): 501-507.

[14] 中华人民共和国国家监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 23348-2009. 缓释肥料[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[15] 罗斌,束维正. 我国缓控释肥料的研究现状与展望[J]. 化肥设计,2010,48(6):58-60.

LUO B, SHU W Z. Present situation of research and prospect for slowly controlled-release fertilizer in China [J]. Chemical Fertilizer Design, 2010, 48(6): 58-60.

[16] 夏培桢,王少仁,许秀成,等. 包裹复合肥料及其肥效研究[J]. 土壤通报,1989(2):74-76.

XIA P Z, WANG S R, XU X C, et al. Study on coated compound fertilizer and fertilizer efficiency [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1989(2): 74-76.

[17] 王少仁,夏培桢. 包裹复肥的肥效及其氮磷的利用[J]. 土壤,1992(2):80-87.

WANG S R, XIA P Z. Efficiency of coated compound fertilizer and utilization of nitrogen and phosphorus[J]. Soils, 1992(2): 80-87.

[18] 侯翠红,王好斌,李荫萍. 乐喜施可控制释放肥料不同施用方法对氮利用率的研究[J]. 磷肥与复肥, 1997(5):69-70.

HOU C H, WANG H B, LI D P. Study on nitrogen use efficiency of Luxecote controlled release compound fertilizer with different application methods [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 1997(5): 69-70.

[19] 汤建伟,许秀成,王好斌,等. 含除草剂复混肥的除草效果试验[J]. 磷肥与复肥,2001,16(3): 68-70.

TANG J W, XU X C, WANG H B, et al. Experiment on killing weed effect for the compound fertilizer with herbicide[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2001, 16(3):68-70.

[20] 李荫萍,王好斌,胡建民,等. 夏玉米施用乐喜施可控释放复合肥料的大田实验[J]. 磷肥与复肥, 1998

(2):66-67.

LI D P, WANG H B, HU J M, et al. Field experiment on luxecote controlled release compound fertilizer of summer maize[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 1998(2):66-67.

[21] 李艳婷,李秀英,赵秉强,等. 缓释复混肥对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J]. 中国土壤与肥料,2008(5):45-48.

LI Y T, LI X Y, ZHAO B Q, et al. Effects of controlled-release compounded fertilizer on maize yields and leaching loss of nitrate in soil profile[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008(5):45-48.

[22] 赵荣芳,孟庆锋,陈新平,等. 包裹型缓 / 控释肥对冬小麦产量、土壤无机氮和氮肥利用效率的影响[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(5): 77-80.

ZHAO R F, MENG Q F, CHEN X P, et al. The effects of coated slow/controlled fertilizer on winter wheat yield, soil Nmin and nitrogen use efficiency[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2009, 24(5):77-80.

[23] 王海红,宋家永,贾宏昉,等. 肥料缓施对小麦氮素代谢及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 335-336.

WANG H H, SONG J Y, JIA H F, et al. Effects of slow-release fertilizer on nitrogen metabolism and yield of wheat [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2006, 22(7):335-336.

[24] 中华人民共和国工业和信息化部. 复混肥料(复合肥料)单位产品能源消耗限额及计算方法: HG/T 5047-2016[S]. 北京:化学工业出版社, 2016.

本文编辑:张 瑞