

【化肥生产应用与开发】

发展有中国特色的控释肥

廖宗文 刘可星 王德汉 宋波

(华南农业大学资源环境学院新肥料资源研究室 广州 510642)

摘要 提高肥料利用率是防止农业面源污染、实行农业清洁生产的需要,也是化肥工业增强产品竞争力的需要。由于具有明显高于一般肥料的利用率,控释肥正成为国内外研究的热点。控释肥作为动态平衡的技术载体,将使平衡施肥提高到新的水平。我国的控释肥研究另辟蹊径,在构建中国特色、世界先进的技术体系中取得了重大进展。

关键词 控释肥 肥料利用率 农业清洁生产

1 现代农业面临的重要挑战:提高肥料利用率

我国以有限的耕地,支撑庞大人口的粮食需求。在本世纪人口增加,对农产品数量和质量要求更高而耕地不再增加的情况下,要实现持续发展,肥料科技创新及其产业化具有重要的战略意义,是21世纪养活16亿中国人以及提高农产品竞争力的重要科技支撑之一。

化肥工业是我国重要的支柱产业,与国计民生关系极大。在一定的自然条件下,农业生产力很大程度上取决于人类对农业生产的物质投入。而肥料的投入则是农用化学品(化肥、农药、农用薄膜等)最广泛、最普遍、历史也最为悠久的一种,其成本和增产作用据估算均达50%。在农业集约化、产业化日趋发展的情况下,肥料的使用不仅对农业生产,而且也对环境产生重大影响,并且这种影响日益明显和广泛。

肥料的种类和正确使用对良种基因潜力的充分表达有重要的影响。近年来,“良种—良法—良田”的关系日益为人们所认识。相当一部分地区的良种在不同程度上受土肥因素的制约而未能发挥其增产潜力。良种的普遍应用同时对土壤和肥料提出了更高的要求。

我国肥料工业最迫切需要解决的问题是如何提高肥料利用率。我国肥料利用率N肥为35%,P肥为15%,K肥为40%,远低于发达国家。认真解决长期存在的肥料利用率低的问题,不仅是农业生产,同时也是化肥工业和持续发展的迫切需要,是急需完成的重大战略任务。

事实表明,在未根本解决肥料利用率低的情况下,继续增加化肥投入总量,不但难以实现预期目标,

而且还会导致更大的财力资源浪费和更严重的环境污染。我国的经济发展再也不能承受这种浪费,我国的环境更无法承受这种污染。这种粗放的经济增长方式不能再继续下去了。

我国近20年来粮食总产和化肥施用量的关系显示,1989年以前10年,粮食产量的增产与化肥投入量呈正相关,而1989年以后,化肥投入量的增加并未能起到预期的提高粮食产量的作用。要提高粮食产量,仅仅靠简单的增大投入的办法已经不行了。在不提高肥料利用率的情况下,笼统地讲增加化肥投入量,犹如对一个漏锅只顾注水而不去堵漏,投入越大损失越多。

2 现代农业呼唤清洁生产

化肥的科学适量投入是现代农业生产力的重要物质保证,是现代农业生产的重要特征。但如过量施化肥在农田系统中的损失还会引起水体富营养化、大气温室效应(N_2O 、 CH_4 、 CO_2)。这种施用化肥产生的面源污染在不少地区已经相当严重,如太湖地区、珠江水系等水体富营养化问题已引起国家和当地政府的高度重视,农田排放的 N_2O 、 CH_4 温室气体也引起国际舆论的强烈关注,如不采取有效的措施,后果将更为严重。要象节水一样重视节肥,肥料的浪费不仅是资源的浪费,而且还造成了严重的环境污染,对于象中国这样一个生态压力巨大的国家,节肥(提高肥料利用率)的重要性不亚于节水。因此,如何有效地提高肥料利用率,加大化肥的技术含量,研制高效、无污染的绿色肥料已成为现代农业科学研究的重大课题。

解决农田面源污染问题,不可能象对待工业点源污染那样采用关、停、迁等办法。提高广大农民科学施肥的水平是必要的,但是,需要较长的时间才能明显奏效。通过研制新型肥料—控释肥(Controlled-Release Fertilizer),提高肥料利用率,在保证增产的同时减少肥料损失造成的污染,是肥料科技创新的重要任务。在迈向21世纪强调持续发展的今天,我们应清楚地认识这一点。为此加快研制控释肥进程,将为农业清洁生产提供一种既能获得高产又能防止环境污

染的绿色肥料。

在1997年《中国农业持续发展中的肥料问题》咨询专家组向国务院呈送的“我国化肥面临的突出问题及建议”报告中提到:解决问题的方法和对策之一就是要加强肥料科研和肥效监控。从肥料学的发展趋势来看,以控释技术为特征的控释肥已成为今后肥料的发展方向,而控释肥料将是现代农业实现清洁生产的重要保证。

3 控释肥:平衡施肥的技术载体

控释肥是一种对养分释放速度进行调节的新型肥料,其养分释放速度可以通过物理、化学以及生物技术手段来调控,实现促释或缓释的双向调节,使肥料中营养元素的供应与作物对养分的需求基本同步、实现动态平衡。这一新肥料的研制,对减少养分的流失,提高肥料利用率及农业可持续发展具有重大意义。因而近几年来,控释技术作为高新技术在肥料领域发展很快。

平衡施肥是现代肥料科学研究中的一个重要内容,是提高肥料利用率的重要理论基础,因而对控释肥的研制有着重要的指导意义。平衡施肥通常指不同元素间的合适比例,即不同养分元

素的比例平衡,这是一种静态的横向平衡。而实际上,作物对养分的吸收依不同生长阶段而变化,肥料养分释放与作物养分吸收的供求平衡,是一种动态的平衡,可称之为纵向平衡(见图1)^[1]。纵向平衡强调的是养分不同释放速度的配合,与横向平衡关注的不同元素间的配合有很大不同(见表1),两者结合才能全面认识平衡施肥理论。控释肥的重要特征是调节供肥速度,因而与纵向平衡有密切关系。

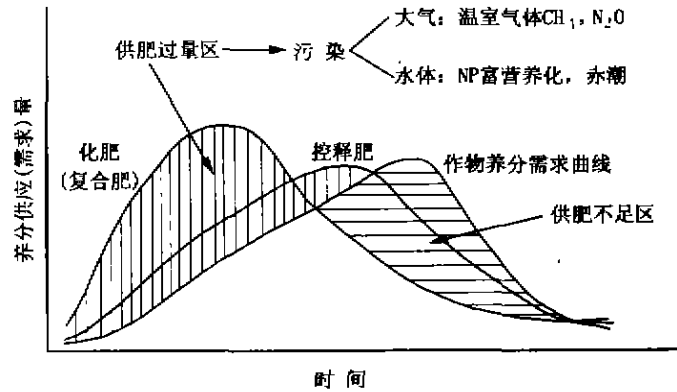


图1 肥料的养分释放与作物养分需求的动态变化示意图

Fig 1 Schematic diagram of dynamic variation of nutrient release of fertilizers and crop demand

表1 纵向平衡与横向平衡的比较

Table 1 Comparison of column-orientation balance (COB) and row-orientation balance (ROB)

内容 Content	特点 Characteristic	应用 Application
横向平衡 Row-orientation balance	不同养分比例、数量 Different ratio and quantity of the nutrients	养分总量 Total content of the nutrient
纵向平衡 Column-orientation balance	养分不同释放速率 Different release rates of the nutrient	静态 Static 养分释放速率 Release rate of the nutrients
	动态 Dynamic	纵向复合肥料 Column-orientation compound fertilizer
		不同元素复合(NPK) Compound of different nutrients
		不同速率复合(V ₁ V ₂ V ₃) Compound of different release rate

由图1可知,与普通化肥和复合肥相比,控释肥的养分释放曲线与作物的需求变化曲线更为接近,即利用率更高,因而对作物的生长更为有利。通常横向平衡仅有一个静态的养分总量概念,难以通过作物生长过程中的动态调控而提高肥料利用率。目前,在大力提倡发展高浓度肥料的条件下,如果仅仅停留在横向平衡的水平,则有可能出现浓度越高、损失越大的情况(图1)。这不仅增加了成本,还加剧环境的污染,我们认为,高浓度肥料的生产,更应重

视应用纵向平衡概念,以提高肥料利用率。我们的研究表明,有机无机复肥供肥平稳、不会大起大落,已具有一定的控释功能,淋溶损失少而作物产量高(见表2)。

最近,我们在磷矿粉和碳铵中加入控释材料,进行控释处理,获得控释磷肥和氮肥,与过磷酸钙或常规碳铵相比,在等养分条件下或养分略低条件下显示较高的肥效,增产明显(见表3,表4)。

表 2 盆栽收获结果及不同取样时间渗漏液中 NK 含量

Table 2 Vegetable harvest in the pot experiments and contents of N, K in leakage during the different sampling time

肥料类型 Types of fertilizers	产量 Vegetable output (Fresh weight: g/pot)		渗漏液 Leakage					
	小白菜 Chinese cabbage	生菜 Lettuce	N (mg/l)			K (mg/l)		
			14d	24d	79d	11d	24d	79d
化肥 Chemical fertilizer	21.9	51.3	52.1	53.1	34.8	39.3	30.9	21.8
有机无机复肥 Organic-inorganic fertilizer	26.6	61.8	41.5	46.4	28.0	33.8	24.4	17.6

注:两处理 NPK 用量相同,小白菜收获后不施肥再种植生菜

Note: Application amounts of NPK in two treatments were same. No fertilizer was applied when planting lettuce after harvesting Chinese cabbage

表 3 三种活性磷肥(AP₁, AP₂, AP₃)的盆栽玉米生物量^[2]

Table 3 Corn biomass of three kinds of activated phosphorus fertilizers (AP₁, AP₂, AP₃) in the pot experiment

处 理 Treatments	过磷酸钙(CK) Super phosphate	活性磷肥 1 AP ₁	活性磷肥 2 AP ₂	活性磷肥 3 AP ₃
生物量 Biomass (Fresh weight: g/pot)	12.20	15.58	16.15	14.65
百分比 Percentage(%)	100	127.7	132.4	120.1

注:活性磷肥的有效 P 与 CK 相同,各处理的 NK 相同,表中数值为三次重复平均值

Note: The rates of available P of activated phosphorus fertilizers were equal to CK, NK of all treatments were same, the data in the table were means of triplicate values

表 4 长效碳铵的盆栽玉米生物量

Table 4 Corn biomass of different long-effect ammonium carbonate in the pot experiments

处 理 Treatments	第一造 First season			第二造 Second season		
	生物量 Biomass (Fresh weight: g/pot)	百分比 Percentage (%)	百分比 Percentage (%)	生物量 Biomass (Fresh weight: g/pot)	百分比 Percentage (%)	百分比 Percentage (%)
CK1	40.00 b	100		34.32 b	100	
CK2	39.00 c		100	32.42 b		100
长效碳铵 A Long-effect ammonium carbonate A	42.22 a	105.5	108.3	43.86 a	128.2	135.3
长效碳铵 B Long-effect ammonium carbonate B	42.07 a	105.2	107.9	41.32 a	120.8	127.5

注:1)表中数值为四次重复平均值,带相同字母者表示差异不显著

2)CK1 为普通碳铵等重对照,CK2 为普通碳铵等 N 对照

Note: 1) The data in the table were means of four repeat values, the data with same letters were not significantly different

2) CK1 - The equal weight control of common ammonium carbonate, CK2 - The equal N control of common ammonium carbonate

从表 4 还可看出,无论是等 N 或低养分(等重)条件下,2 种长效碳铵均增产,第二造的产量增幅更高,达 20%以上,显示后效更好。而表 3 的结果显示,活性磷肥的增幅也达 20%以上,最高者逾 30%。这些试验与正在进行的研究表明,控释肥由于对养分平衡进行了纵向调节,可有效地提高肥料利用率,因而增产明显。

4 另辟蹊径,开创中国特色的控释肥技术体系

作为一个肥料品种,世界控释肥的产量目前约在 100 万 t/年以下,在肥料中所占的比重亦很低,不足 1%。主要用于高尔夫球场、园艺作物,一般大田作物

甚少应用。主要原因是控释肥的成本高。此外,还存在如下一些问题:

①品种方面,偏重 N 肥的控释,而对 P、K 和微肥的控释较少研究;

②控释材料多为硫、树脂类材料,成本高且功能限于缓释,促释的材料尚缺;

③控释手段多为表面处理——包膜,非包膜手段甚少;

④控释理论研究薄弱,尤其是缺乏学科交叉的综合研究,如:化学结构、化学工程、农业化学和植物生理等方面的联合攻关尚待加强。

中国作为一个发展中国家,要在控释肥技术上有突破,必须另辟蹊径,发展中国特色的控释肥技术。

我们认为,今后应从控释技术体系的三个方面加强创新、有所突破,以推进农业清洁生产。(见表5)

表5 国内外控释肥的技术体系比较

Table 5 Comparison of Controlled-release fertilizer technological systems in the domestic and overseas

控释路线 Ways of controlled-release	控释材料 Controlled release material	关键设备、工艺 Key equipment and technique
1. 包膜 Coated	1. 高聚物、塑料、硫磺 Superpolymer, plastic, sulfur	1. 专用包膜设备: Special coated equipment
2. 非包膜; Non-coated 化合—脲甲醛 Compounding—urea formaldehyde 混合 有机无机复肥* Mixing organic-inorganic fertilizer	2. 肥料; 钙镁磷肥(郑州) Fertilizer; Calcium magnesium phosphate (Zhengzhou)	(1) 常温回收溶剂、进口设备、实验室规模(山东) Solvent recovery at normal temperature, imported equipment, lab scale (Shandong)
* 3. 一步法控释途径(研究中)现有 化肥企业适用 The way of one-step controlled-release (being researched), suitable for modern chemical fertilizer enterprises	* 3. 废物资源功能化: Functionalization from waste resources 木素、发酵废液、污泥 Lignin, fermentation waste liquor, sludge * 4. 其他新材料 (Other new materials)	(2) 高温回收溶剂、自制设备、开始建厂(北京) Solvent recovery at high temperature, home-made equipment, the factory being built in Beijing
		2. 常规设备: Conventional equipment (1) 转鼓式(郑州) Rotating-drum type (Zhengzhou) (2) 挤压或圆盘(正在开发) Push-type or disk-type (being exploited)

注:表中有*者为华南农业大学新肥料资源研究室的研究项目或成果

Note: The contents with * are the research projects or achievements of New Fertilizer Resources Laboratory, South China Agricultural University

①开拓新控释材料 工农业废物中有不少是存在的控释材料。我们的研究表明,造纸木素、酒精废液、矿山尾矿和某些矿物,都是值得开发的有机和无机控释材料^[3~5]。这类新材料的成本远低于通常使用的硫和树脂。而且通过这一资源化途径,还为废物找到出路,环保意义更大。

通过对废物资源的功能化开发,还可进一步提高其利用价值。我们的研究表明,利用木素和矿物等有机及无机材料,经过适当的化学修饰,例如氨氧化、硝化和磺化等手段,可以成为具有缓释和促释功能的控释材料。不仅可以用于N肥,还可以用于磷矿粉的活化和微肥的控释^[4~6]。缓释和促释双方的调节优化组合运用,还可进一步提高养分控释的效果。柱撑蒙脱石是一近十多年来倍受关注的新型改性矿物功能材料。我们把这一材料进行化学修饰处理后,强化其功能,获得明显的增产效果,这为开发利用我国优势资源研制控释肥提供了一条新的技术途径^[7]。

②开辟新控释技术路线 包膜是最常采用的控释路线,但非包膜路线也是值得重视的,化合方法如脲甲醛即为一种非包膜的方法。把控释材料与肥料混匀,也可达到控释的效果。例如,用有机原料与化肥一起制成有机无机复肥,其效果不亚于包膜方式(见表2)。对木素进行化学修饰,接上N素基团,也可以达到控释的目的。

“异粒变速”是指对肥粒实行不同包膜厚度或不同包膜材料处理,使其获得不同释放速度的技术。这

其实是一种“纵向复合”的技术处理^[1],比通常采取的单一膜单一释放速度的技术有明显的优越性;操作性强、成本低、可调控的范围大。

一步法则又是一新的控释路线。与国内外现有对化肥产品进行二次加工生产控释肥不同,一步法控释技术在原有化肥生产流程中选择适当的环节加入合适的材料,并对原工艺作相应的变动即可生产出控释肥,如控释氮肥、控释磷肥等。这是控释技术路线上的重大突破,对于我国大中型化肥企业的技术提升、产品换代和增强市场竞争力意义重大。目前我们已完成实验室的研制和盆试。通过学科交叉的研究,还获得这一新型控释肥的结构特征和键合特征,为今后纵深推进提供了重要科学依据。

③开发新控释设备 国外的控释肥设备为专用流化床。化肥或复肥粒在流化床中滚动,接受喷涂包膜。成膜材料多为聚乙烯类、溶于有机溶剂中的高聚物,溶剂在常温下或高温下回收循环使用。高温设备已由北京市农林科学院投入中试,并于2000年在广东新会成功投产。常温设备由山东农业大学从国外引进,为一实验装置,效果很好,现着手与山东化工部门合作,自行开发国产设备。郑州工业大学磷复肥研究所早在20世纪80年代就应用常规设备,采用“肥包肥”的方法,成功研制出包裹型复肥。20世纪90年代则进一步研制出以磷酸复盐包裹的第二代产品,这是我国自行开发的非专用设备生产控释肥的技术。该技术已获专利并出口美国,并已在美国投产。

与新控释材料的开发相配套,我们正在探索常规设备(转鼓、圆盘、挤压)条件下的包膜技术,现已取得小试成功,获得一批重要数据和样品,显示这一方向有着广阔的应用前景。我国控释肥技术的目标是要进入广大化肥企业和农田,目前发达国家尚未做到,这就必须另辟蹊径,走中国特色之路。从控释肥技术体系的三大环节(即控释路线、控释材料和设备)全面地进行技术创新,可望在控释肥的国际竞争中异军突起,一跃领先。

参 考 文 献

1 刘可星,廖宗文.平衡施肥概念的发展及其技术开发.磷肥与复

肥,1997,(6):64~65

- 2 廖宗文.工业废物的农用资源化:理论、技术与实践.北京,中国环境科学出版社,1996.49~57
- 3 廖宗文等.广东沸石与膨润土对磷矿粉的增效作用初报.陆景冈主编,土壤地质四.北京,中国农业出版社,1997.273~276
- 4 刘可星,王德汉等.造纸黑液及木素对磷矿粉活化的研究初报.广东造纸,1998,(3):14~15
- 5 乐学义等.造纸黑液木素稀硝酸氧化及其复合锌肥的研究初报.华南农业大学学报,1999,20(2):125~126
- 6 吴平霄,廖宗文等.改性磷肥的结构特征及其增产机理研究.植物营养与肥料学报,2000,6(3):287~292
- 7 宋波.控释肥的包膜与非包膜的技术比较及其机理研究.华南农业大学硕士学位论文,2001

Developing Controlled-Release Fertilizer with Chinese Characteristics

Liao Zongwen Liu Kexing Wang Dehan Song Bo

(New Fertilizer Resources Laboratory, College of Natural Resources and Environment,
South China Agricultural University Guangzhou 510642)

Abstract Increasing fertilizer use efficiency is an effective measure to control non-point pollution in agriculture and realize clean agro-production, and also to increase competitive ability of products for chemical fertilizer industry. As controlled-release fertilizer (CRF) has much higher fertilizer use efficiency than traditional fertilizers, CRF becomes hit research area in the world. As technological load of dynamic balance, CRF will promote balanced fertilization up to new level. China is exploiting new approach for CRF researches, making important development on constructing technological system of CRF with Chinese characteristics and advanced level in the world.

Key words Controlled-release fertilizer Fertilizer use efficiency Clean agro-production

《国外畜牧科技》2002年征订启事

《国外畜牧科技》是由农业部主管,中国农业科学院畜牧研究所主办的全国性畜牧科技期刊。1974年创刊,读者对象为畜牧兽医行业科研人员、教学工作者和企业生产者。

办刊宗旨为“报道世界畜牧科技最新研究进展与动态;传播国际畜牧生产最先进的实用技术”。具有先进、新颖和实用的特点,是学习和引进国外先进技术的重要信息刊物。本刊为全国中文核心期刊,全国重点宣传媒介,荣获“全国农口学会第2届优秀期刊奖”和“全国畜牧兽医第1届、第2届优秀期刊一等奖”。

栏目设置:营养与饲养、添加剂与饲料、遗传繁育、疾病防治、生物技术、生理生化、畜牧工程、畜禽产品、特种动物、情况介绍、专家论谈、企业和生产介绍等。

本刊为双月刊,大16开,64页。国内统一刊号:CN11-2347/S,邮发代号:2-215。全国各地邮局均可订阅,也可直接汇款到本刊编辑部邮购。每期定价5.00元,全年30.00元。**地址**:100094 北京中国农业科学院畜牧研究所;**电话**:(010)62816020(可传真);**E-mail**:gwxm@263.net。