

文章编号: 1003-8701(2008)04-0038-05

新型缓控释肥的研究现状及展望

王亮^{1,2}, 秦玉波³, 于阁杰^{1,2}, 石元亮¹

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2.中国科学院研究生院 北京 100039; 3.海南大学 海口 570228)

摘要: 传统的肥料利用率低, 肥效期短, 养分容易淋失、挥发和固定, 缓控释肥料作为传统肥料的替代产品具有许多优点, 能够大大提高肥料的利用率。因此, 开发可控制养分释放速度, 一次施用能满足作物各个生长阶段养分需要, 低成本, 生产工艺简单且对环境友好的缓控释肥是今后肥料领域研究的主攻方向之一。本文阐述了缓控释肥的定义、发展现状, 总结了近年来我国缓控释肥领域的研究成果, 分析了目前该领域存在的问题, 指明了我国缓控释肥料今后的发展方向。

关键词: 缓控释肥; 研究现状; 发展前景

中图分类号: S145.6

文献标识码: A

Current Situation and Prospect of Studies of Slow/Controlled Released Fertilizer

WANG Liang^{1,2}, QIN Yu-bo³, YU Ge-jie^{1,2}, SHI Yuan-liang¹

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039; 3. Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Traditional fertilizer often has short effect period, and their nutrient was easy to be leached, volatilized and fixed. As the substitute of traditional fertilizer, slow/controlled released fertilizer has lots of advantage and can improve fertilizer utilization efficiently. Thus, developing slow and controlled released fertilizer with low cost, easy manufactory, single-dose application and friendly environment, especially coated fertilizer is the main direction in the future. The definition of slow/controlled released fertilizer was described, and current situation and problems of slow/controlled released fertilizer analyzed in the paper. The develop direction in future was also pointed out.

Key words: Slow/controlled released fertilizer; Current situation; Prospect

中国是农业大国, 同时也是化肥消费大国。2007 年化肥总消费量预计达到 5 700 万 t, 占世界首位。化肥在农业生产中占有极其重要的地位, 国家粮食增产中 55% 要归功于化肥的应用, 但是, 传统的普通化肥由于其自身的种种缺点, 大大降低了其利用率, 氮肥一般为 30%~35%, 磷肥为 10%~25%, 钾肥为 35%~50%, 如此低下的利用率, 势必造成资源的极大浪费, 同时大量流失的营养元素富集在环境中, 增加了环境自身的压力, 改变环境的元素组成, 也必然引发水体富营养化等一系列环境污染问题。因此如何高效的利用化肥, 提高化肥的利用率, 对于农业生产具有十分重要

的意义。

1 缓控释肥的定义

缓控释肥料的定义与划分一直是一个具有争议的问题。国际肥料协会对缓释和控释的定义为:

缓释和控释肥料是那些所含养分形式在施肥后能缓慢被作物吸收与利用的肥料; 所含养分比速效肥(例如硝铵、尿素、氯化钾)有更长效的肥料。美国作物营养协会(AAPFCO)对缓释和控制释放肥料的定义为: 所含养分比速效肥具有更长肥效的肥料^[1]。

韩晓日指出: 缓释肥料(slow release fertilizers, 简称 SRF) 是指肥料施入土壤后转变为植物有效态养分的释放速率远远小于速溶肥料。在土壤中能缓慢放出其养分, 它对作物具有缓效性或长效性, 它只能延缓肥料的释放速度, 达不到完全控释

收稿日期: 2008-04-07

基金项目: 缓释肥料新产品研制(07KLT911J6)

作者简介: 王亮(1982-), 男, 满族, 硕士研究生, 主要从事新型肥料的开发研究。

的目的。控释肥料(controlled release fertilizers, 简称CRF)是以颗粒肥料(单质或复合肥)为核心,表面涂覆一层低水溶性的无机物质或有机聚合物,或者应用化学方法将肥料均匀地融入分解在聚合物中,形成多孔网络体系。并根据聚合物的降解情况而促进或延缓养分的释放,使养分的供应能力与作物生长发育的需肥要求相一致的一种新型肥料^[2]。

关于缓释控释肥料,目前还没有一个统一的称谓。但通常来说,被大家广为认同的是:真正意义上的控释肥,即肥料的养分释放速率与作物养分吸收相同步的,应该是包膜肥,其他的缓效肥料可称为缓释肥而不能称为控释肥。但通常都认为缓释与控释之间没有法定的区别^[3]。

2 缓控释肥料分类

缓释控释肥料种类繁多,各种文献依据分类角度不同,分类有所差异。比较普遍认同有以下几种分类,具体如下:

2.1 根据化学性质划分

(1)化学合成微溶性有机化合物,(2)化学合成微溶性的无机化合物,(3)加工过的天然有机化合物,(4)包膜添加成形氮肥^[4]。

2.2 按照溶解性释放方式划分

(1)降解性因素控制水溶性肥料,(2)微溶性有机含氮化合物,(3)微溶性无机含氮化合物^[5]

2.3 根据养分释放控制方式划分

(1)扩散型,(2)侵蚀型或化学反应型,(3)膨胀型,(4)渗透型^[6]。

2.4 根据化学组成划分

(1)包裹缓释肥料,(2)混合缓释肥料,(3)缩合物或聚合物缓释肥料,(4)吸附缓释肥料^[7]。

2.5 根据缓释控释原理划分

(1)生物化学法:如添加脲酶抑制剂肥料、添加硝化抑制剂肥料及添加脲酶及硝化抑制剂的肥料。(2)物理方法:微裹法:如聚合物包膜肥料^[8]、硫包尿素包裹型肥料、涂层肥料,整体法,如扩散控制基质型肥料、营养吸附(替代)基质型肥料。(3)化学方法:化学合成法,如尿醛法、异丁叉二脲、草酰胺等等,其他化学法如长效硅酸钾肥、聚磷酸盐。(4)生物化学与物理包膜相结合的方法:如添加抑制剂和物理包膜相结合控释肥料、添加抑制剂、促释剂及物理包膜相结合控释肥料等等^[9]。

3 国外缓控释肥的发展概况

缓控释肥料的生产已有40多年历史。目前,

美国、日本及西欧是世界控释肥研究技术比较先进的国家。美国是世界上最早研究缓控释肥料的国家,以包硫尿素(SCU)为主,此外还有包硫氯化钾(SCK)、包硫磷酸二铵(SCP)等。改进的包硫尿素在其表面包一层烯烃聚合物,产品名为Polys,这种产品售价比聚合物包膜肥料便宜,在美国市场上被广泛使用。Osmocote仍为世界上最有影响的包膜肥料。美国的控释肥料很多是与速效肥料掺混使用,为防止掺混时包膜破裂,开发了耐磨控释肥;为减轻聚合物对环境的污染,又相继开发了生物降解膜控释肥料;2000年美国的缓控释肥料53%以上为微溶性尿素反应物,47%为包膜肥料。

日本从20世纪60年代开始包膜肥料研究,1970年注册了热固型树脂包膜肥CSR,1979年日本相继研制出具有精确控释和缓释的双重功能的热塑型及热固型树脂包膜肥料。1980年研制出热塑型树脂聚烯烃包膜肥料(Nutricote),与美国的Osmocote,同为国际知名品牌。20世纪90年代主要生产包膜尿素、热固性树脂包膜及含农药的包膜肥、生物可降解的脂肪族聚酯和微晶石蜡包膜材料。现以可降解聚合物包膜肥料为主。

以色列1993年研制成聚合物包膜,用聚乙烯、聚苯乙烯或乙烯—乙烯乙酸共聚物与肥料粉末混合后加工成控释包膜肥,现在已研制成聚合物包膜尿素、NPK及KNO₃的控释肥料。其基于胶黏物质的控释装置一直处于世界领先水平。

缓控释肥料由于生产成本低,价格一般相当于普通化肥价格的2~8倍,影响了在大田作物上的推广使用。美国是世界最大缓控释肥消费国,占世界总消耗量65%以上,日本和欧洲各占15%左右。美国消费的缓控释肥料92%用于非农业市场,仅仅用于高价农作物,如草莓、坚果和蔬菜等,西欧与美国相似。日本70%包膜肥料用于水稻,20%用于西红柿等蔬菜。韩国开发的聚合物包膜肥主要用于水稻、园艺和蔬菜。目前世界缓释和控释肥的年消耗总量约70万t,以4%~5%的速度增长,其中聚合物包膜缓控释肥年消费平均增长9%~10%。相比之下,氮磷钾化肥世界年消费已超过10亿t,缓控释肥用量还不到1%^[9,10]。

4 国内缓控释肥的研究概况

4.1 控释材料的研究

我国对缓控释肥料的研究起步较晚,国内最早的研究始于20世纪70年代,进入80年代,特别是近年来随着化肥用量大、利用率低,化肥污染

农产品和环境问题的加剧,国内缓控释肥料的研究步伐加快,相应的包膜材料研究也不断深入。

郑州工学院利用营养材料研制包裹型控释肥料,先后研制出:钙镁磷肥包裹尿素(1983)、磷矿粉部分酸化包裹尿素(1991)和二价金属磷酸铵钾盐包裹尿素(1995)。养分控制释放时间超过了 95 d,具有很好的缓控释效果。并将科研成果产业化,研制出年产万吨生产能力的产业化生产线,产品注册品牌为 Luxacote(乐喜施),已出口美国、澳大利亚、新加坡和日本等国家,用于高尔夫球场、市政草坪和公共绿地等。

北京市农林科学院从 1992 年开始,徐秋明等在国内率先采用了树脂作为尿素的包膜材料。在借鉴日本技术的基础上,在溶剂、包衣材料、设备等方面,均有很大的改进和突破。研究筛选出低毒溶剂,溶剂回收率 98%以上;选用廉价的聚丙烯酰胺,并进行降解改性。目前已研制出年生产能力 3 000 t 以上的树脂包衣尿素生产线,生产出养分控释 30、50、80、120、160、200 d 及其以上的树脂的系列包衣尿素。另外在基质复合、胶结控释、包膜材料研制方面做了很多研究,尤其是在利用工农业废弃物研制包膜材料方面更为深入。在成膜工艺、机理,有机复合、保水和防病等多功能控释肥研制方面也做了大量工作,发明了反应成膜技术。使用常温设备生产包膜控释材料,研制的基质复合、保水型控释肥料在山东的玉米,广东、新疆的蔬菜与棉花等作物上大面积示范^[11-14]。

山东农业大学利用聚合物硫包尿素也取得了很好的控释效果,并对释放特性进行了深入的研究,对聚合物硫包尿素(简称 PSCU)产品的养分释放特性进行了研究。结果表明,PSCU 在抗冲击性和耐磨性上均明显优于硫包尿素(简称 SCU);PSCU 能明显克服 SCU 的“破裂释放”模式的缺点,使养分释放更加平缓;硫膜的厚度对 PSCU 的养分释放期起决定性作用,养分初期溶出率随着硫膜厚度的增加而降低,养分释放期相对延长;在相同涂硫量的条件下,PSCU 养分初期溶出率随着外层聚合物用量的增加而降低,养分释放期相对延长。因而可以通过改变硫膜和聚合物的厚度来调节其养分释放特性,生产具有不同养分释放特性的控释肥料^[15]。

还有一些院校和科研单位也在致力于这方面的研究。如中国农业大学在控释肥料的控释机理、评价等方面进行了大量研究;浙江大学石伟勇等致力于利用可生物降解壳聚糖开发新型环保缓释

肥料;南京农业大学研制以淀粉基为包膜材料的缓释肥料;昆明理工大学以桐油为膜材料制备了包膜尿素^[16]。

从节约能源和环保两个方面衡量,我们认为今后控释肥料包膜材料的取材应该是能耗低、无溶剂或是少用溶剂的材料。水溶性包膜材料应该是控释肥料目前的发展方向,华南农业大学、中国农业大学、南京土壤研究所在国家科技支撑计划的资助下,在水及聚合物包膜材料的合成方面取得了明显的进展,水溶性树脂合成技术已经用于工业化生产制造包膜肥料。新型、换代水基聚合物包衣材料的制造技术仍然在研究之中。

4.2 控释理论的研究

控释理论的研究是控释肥料技术及其工业化的基础。控释理论包括养分控释机理、养分释放性能评价方法等。控释肥料养分释放的机理研究方面,许多研究分别对控释肥料养分的释放特性从动力学的角度进行了深入的探讨。

化学合成控释肥料(如脲甲醛、草酰胺等)是在化学分解和生物降解作用下释放养分,其养分释放速率主要取决于颗粒大小和土中水分含量、温度、pH 值。

包膜控释肥料根据包膜材料类型的不同,其养分释放机理可以分为 3 类:具有微孔的不渗透膜,养分从膜层微孔溶出,溶出的速度取决于膜材料性质、膜的厚度及加工条件;不渗透膜,靠物理、化学、生物作用破坏而释放养分;半渗透性膜层,水分扩散到膜层内直到内部渗透压把膜层胀破或膜层扩张到具有足够的渗透性而释放养分^[17]。影响控释肥料养分释放的因素有很多,不同类型或不同膜材料的包膜肥料受各种因素影响的程度都存在较大差别,其中通常其主要作用的有土壤微生物活性、温度、水分等。例如硫包尿素的释放速率受土壤微生物活性的影响较大,与硫包衣尿素等相似的无机包膜材料的包膜肥料受土壤水分含量影响较大;而有机聚合物包膜肥料,在土壤田间持水量和作物凋萎含水量范围内,除受土壤温度影响较明显外,其他环境因子影响都较小。温度对包膜肥料养分释放速率的影响是通过溶解和扩散作用来达到的。邓圣先等对温度、水分两因素做了比较系统的研究,发现土壤基水势是影响控释肥料养分释放的主要因素^[18]。

樊小林等研究发现,控释肥料养分的释放动力学特性不仅可以用动力学方程描述,而且还可以用 Elovich 方程、抛物扩散方程和零级方程描

述,并用7d的短期培养结果通过动力学方程预测控释肥料的养分释放情况,研究表明,控释肥料的氮素释放可用下列一级动力学方程拟合。

$$d(\text{NO}-\text{Nt})/dt=k(\text{NO}-\text{Nt}) \text{ 或 } \ln(\text{NO}-\text{Nt})=\ln\text{NO}-\text{Kt}$$

式中 Nt 为 t 时刻的养分, NO 为控释肥料的最大养分释放率, k 为控释肥料养分释放速率常数 (d^{-1}), t 为释放时间(d)。据此可以用数学的方法拟合包膜肥料的最大养分释放率和每天的释放率,从而预测控释肥料使用后某一定时间的供肥量^[19]。

杜昌文等对聚合物包膜复合肥料养分释放滞后期作了深入的研究。研究发现,滞后期主要由水分进入过程和养分溶解过程组成,滞后期的长短受这两个过程控制;滞后期的主要影响因素为包膜厚度、养分溶解度和养分组成等。并以此为理论基础,模拟了聚合物包膜肥料养分释放的滞后期,推导出聚合物薄膜肥料滞后期的方程,实际估算了聚亚胺酯类物质包膜复合肥料(Multicote)中 K^+ 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 和 H_2PO_4^- 释放的滞后期。同时,该模型还表明,当包膜厚度较薄时,对滞后期起主导作用的是养分溶解过程,只有当包膜厚度足够大时,才会对滞后期起主导作用。该模型为聚合物薄膜肥料的研制和应用提供了重要的理论指导^[20]。

4.3 肥料生产工艺技术研究

国内比较有代表性的包膜技术主要有溶剂型树脂包衣技术和水溶性树脂包衣技术。其中溶剂型树脂包衣技术已经应用到实际肥料生产中,如北京首创集团的控释肥生产线就是应用的此项技术。该项技术的优点是成本比较低,制造工艺难度小,但是问题是溶剂的回收率达不到理想指标,溶剂多为有机溶剂,易燃易爆,具有很大的危险性,且生产的控释肥料成品难免有溶剂的气味。水溶性树脂包衣技术相比溶剂型包衣技术无需回收溶剂,使用安全,成品无味,且节省了大量的有机溶剂,但是由于其技术还不够成熟,导致其生产成本大大升高,有待进一步深入研究。华南农业大学的樊小林教授最早进行了该项技术的研发。他将水溶性树脂包衣技术概括为3个阶段:实验室阶段、中试阶段和工业化阶段,对包衣技术的研究起到了指导作用。

另外,对核芯肥料的理化性质的研究也受到了相当程度的重视。戴建军和樊小林等研究利用排体积法测定肥料颗粒的比表面积。首先用排体积法测定一定量的颗粒肥料所排开液体质量,再根据这种液体的密度计算其体积,然后假设肥料颗粒为球体,根据肥料体积百粒质量可以计算出

单粒肥料的平均半径。最后按照球体表面积公式计算肥料的比表面积。这一比表面积的测定方法可以方便地应用于控释肥料研制过程计算包膜的厚度和膜材的用量^[21]。黄培钊等研究表明,油冷复肥颗粒外表面最光滑,转鼓复肥颗粒外表面最粗糙且多孔,高塔复肥和圆盘复肥颗粒外表面居中;油冷复肥核芯紧实度最优,转鼓复肥紧实度最差,高塔复肥和圆盘复肥核芯紧实度居中;油冷芯肥的膜——芯接触最紧实,转鼓芯肥的膜——芯有明显空隙,而高塔芯肥和圆盘芯肥则居中。油冷核心缓控释肥的氮累积溶出率远低于转鼓核芯缓控释肥^[22]。刘春光和周建斌等研究了不同的养分比对于包膜肥料成品品质的影响,为包膜肥料生产养分配比提供了理论依据。

5 缓控释肥料存在的问题与发展趋势

5.1 缓控释肥研究存在的问题

综上所述,我国缓控释肥的研究与应用已经逐步进入正轨,但是仍然存在着许多的空白与薄弱环节,有待更加深入的研究和探讨。

缓控释肥料的营养释放与作物吸收的同步问题。尽管已有很多人研究了缓控释肥料的营养释放机理,但真正把释放机理和作物吸收的特性相互联系到一起的研究还是较少。

价格问题。与普通肥料相比,包膜控释肥料的生产成本比常规肥料高1~2倍,或3~5倍以上。而采用添加抑制剂的非包膜缓控释肥料成本虽然增加不多,但养分控释效果不稳定。

对膜材料或抑制剂随肥料施入土壤后在土壤中的行为、环境效应及评价研究较少,大多是针对原料的成分、性质来分析其对环境的影响,但在肥料加工过程中可能产生的中间产物及其对土壤生态环境的影响考虑不多。

产业化问题。目前以生物法生产的缓控释肥料由于生产成本低、工艺简单,基本实现产业化,而包膜肥料生产工艺较复杂,养分控制要求比较高,产业化研究与开发相对滞后。

缓控释肥的行业标准缺乏,研究至今仍没有一个统一的、被广为认可的行业标准。

5.2 缓控释肥料的发展趋势

缓控释肥料已经被人们所接受,正在成为21世纪肥料工业的替代产品。基于缓控释肥存在的问题,当前缓控释肥的研究方向如下:

从降低成本、易于加工和提高肥效等方面

考虑,筛选包膜控释材料,进行包膜工艺和各种专用肥料研究,结合硝化抑制剂、脲酶抑制剂、磷素活化剂等,研制开发出适宜不同土壤和作物需要的缓控释专用复合肥料;

将包膜与物理、化学和生物方法结合,对缓控释肥料养分控释机理、肥效作用、环境效应等进行深入的研究;

建立健全缓控释肥开发生产的行业标准、企业标准和国家标准,为缓控释肥的研究和产业化提供依据。

参考文献:

[1] 翟军海,高亚军.控释/缓释肥料研究概述[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):45-48.
 [2] 韩晓日.新型缓/控释肥料研究现状与展望[J].沈阳农业大学学报,2006,37(1):3-8.
 [3] 武志杰,陈立军.缓释/控释肥料原理与应用[M].北京:科学出版社,2003.
 [4] 邹 箐.绿色环保缓释/控释肥料的研究现状与展望[J].武汉化工学院学报,2003,25(1):13-17.
 [5] 张 民,史衍玺,杨守祥,等.控释和缓释肥料的研究现状与进展[J].化肥工业,2003,28(5):27-30.
 [6] FanL, SinghSk. Contrdled Released- Aquantitative Treatment [J]. Spring-verlag, 1990.
 [7] 陈 强.缓释肥料的研究进展[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),2000,20(3):189-193.
 [8] 王 勇.聚乙烯包膜尿素的研制 [J].太原科技,2002(1):44-45.

[9] 许秀成,李葭萍,王好斌.包裹型/控释肥料释放专题报告(第二报)世界缓释/控制释放肥料生产、消费现状[J].磷肥与复肥,2000,15(4):5-7.
 [10]许秀成,李葭萍,王好斌.包裹型缓释控释肥料专题报告-概念区分及评判标准[J].磷肥与复肥,2000,15(3):1-6.
 [11]孙克君,卢其明.复合控释材料的控释性能、肥效及其成膜特性研究[J].土壤学报,2005,42(1):127-133.
 [12]孙克君,毛小云.几种控释氮肥的饲料玉米肥效及其生理效应研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(3):345-351.
 [13]孙克君,毛小云.几种控释氮肥减少氮挥发的效果及其影响因素研究[J].应用生态学报,2004,15(12):2347-2350.
 [14]杜建军,廖宗文.缓控释肥在不同介质中的氮素释放特性及其肥效评价[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):165-169.
 [15]杨超越,张 民.聚合物硫包尿素的养分释放特征[J].化肥工业,2006,33(1):26-30.
 [16]李 萍,唐 辉,等.桐油包膜复合肥料的包膜形态及缓释性能研究[J].化肥工业,2005,32(3):17-19.
 [17]张宝林.新型缓释性复合肥[J].化肥工业,1995,22(6):329-336.
 [18]邓圣先,肖 剑.控释肥料养分释放动力学及其机理研究(第三报)[J].磷肥与复肥,2002,17(6):9-12.
 [19]樊小林,王 浩,等.粒径膜厚与控释肥料的氮素养分释放特性[J].植物营养与肥料学报,2005,11(3):327-333.
 [20]杜昌文,周建民,王火焰.聚合物包膜NPK复合肥料养分释放滞后期的研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(2):179-182.
 [21]戴建军,樊小林,等.颗粒肥料比表面积快速测定法在控释肥料研制中的应用[J].磷肥与复肥,2006,21(1):67-69.
 [22]黄培钊,廖宗文,等.不同造粒工艺的肥芯一包膜微结构特征与缓/控释性能的研究 [J].中国农业科学,2006,39(8):1605-1610.



(上接第31页)集叶背,因此叶片背面重点喷施,以保证药效。

参考文献:

[1] 马淑梅,等.黑龙江省大豆主要病害发生危害调查[J].黑龙江农业科学,2005(6):48-51.
 [2] 张淑珍,等.黑龙江省2004年大豆田病害的分布及防治[J].大豆通报,2004(5):2-3.

[3] 于佰双.大豆病害及其防治[J].农民科技培训,2002,5:18-19.
 [4] 王向东,等.大豆根腐病的识别与防治技术[J].大豆通报,2006(1):22-24.
 [5] 俞孕珍,等.大豆霜霉病发生规律的研究[J].沈阳农业大学学报,1997,28(3):191-194.
 [6] 王春荣,等.2004年黑龙江省大豆蚜虫暴发因素分析[J].大豆通报,2005(3):19-20.
 [7] 辛惠普,等.大豆病虫害防治彩色图谱[M].北京:中国农业出版社,2003:1-26.



(上接第33页)

3 结 论

99.5%氯化苦液剂防治人参锈腐病效果较好,根据2年田间防治结果,试验药剂防治效果均高于生产上常用药剂多菌灵的效果。使用剂量25~35 kg/667 m²在人参播种前进行土壤施入,可以取得较好的防治效果。

参考文献:

[1] 农业部农药检定所生测室.农药田间药效试验准则(一)[M].北京:中国标准出版社,1993:40-44.
 [2] 虞铁俊,等.蔬菜病虫害无公害防治技术[M].北京:中国农业出版社,2002:267-268.
 [3] 方中达,等.中国农业百科全书,植物病理学卷[M].北京:中国农业出版社,1996:359.
 [4] 叶钟音,等.氯化苦使用技术[M].北京:中国农业出版社,2002:449-450.