

文章编号:1006-544X(2003)01-0102-04

# 肥料养分控释技术、机理和质量综述

宋波<sup>1</sup>, 廖宗文<sup>2</sup>, 钟雪梅<sup>1</sup>, 杜建军<sup>3</sup>

(1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004; 2. 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642;  
3. 仲恺农业技术学院农学系, 广东 广州 510225)

**摘要:** 从肥料养分释放与作物吸收的“供—求”平衡关系出发, 阐述了养分控释的在提高肥料利用率和减少面源污染中的意义; 列举了养分控释的主要技术途径及其控释原理, 并从控释材料来源、设备选型、控释效果等方面对各种技术途径进行了评述; 在控释肥质量评价方面, 说明了引入土壤因子的必要性和合理性, 认为把“肥—土”作为一个整体来考虑, 有利于控释肥的质量评价更客观、更合理。

**关键词:** 控释肥; 养分控释技术; 质量评述

**中图分类号:** S145.6

**文献标识码:** B<sup>①</sup>

控释肥的历史并不长, 始于20世纪40年代, 是化学肥料产品中的新秀. 虽然对其农学和环保方面的重大意义已有相当充分的认识, 但由于还存在种种技术问题, 尤其是生产成本过高的问题尚未解决, 半个世纪以来, 控释肥的进展不大. 90年代企业界产量约为50万t, 占全球化肥总量约1%, 应用范围多为草坪、花卉等非农业领域<sup>[1]</sup>. 为了尽快发展我国自己的控释肥, 使之进入广大农田, 并在世界控释肥技术竞争力中占有一席之地, 加强对肥料养分控释的理论和技术的研究是十分必要的.

## 1 养分控释的重要意义及相关概念

化肥大量使用是现代农业的技术特征, 也是现代农业生产力的基本物质保证. 但大量使用化肥造成的面源污染, 如水体富营养化和大气温室效应, 已对环境造成极大危害, 已到了无法承受的地步. 而且, 对作物的产量、质量亦产生了不利影响. 究其原因, 主要是化肥的速溶性使其供肥

产生前期过高而后后期不足, 难以适应作物各阶段的不同需求. 因此, 对尿素、磷铵、氯化钾等速溶性化肥进行养分控释处理, 减缓其释放速率, 就成为现代化肥技术的一个重要发展方向. 这种对肥料释放速率的调节, 可以明显提高肥料利用率, 因而在大大减少面源污染的同时, 提高作物产量和质量, 实现经济效益和环境效益协调统一. 图1所示, 普通化肥前期供肥速度过高, 造成供肥过量, 不仅对作物不利, 而且对环境(大气、水体)造成污染, 而后后期则造成供肥不足的问题. 控释肥的养分释放量前期不致过多, 而后后期不致太少, 具有“削峰填谷”的效果, 与作物的需求曲线较接近, 较好的达到动态平衡, 不仅对作物有利, 而且可以大大减少污染.

养分控释技术使养分释放与作物吸收较好地达到“供求”平衡. 平衡施肥一般指不同元素间的比例平衡, 这是一种静态的平衡. 控释技术则使养分平衡由静态扩展到动态、由横向扩展到纵向, 因而使养分平衡的实施更为全面<sup>[2,3]</sup>.

① 收稿日期: 2002-10-18; 修订日期: 2002-11-22

基金项目: 广东省科技攻关计划(2KB05601N)和芭田基金(BJ2000-01)资助项目

作者简介: 宋波(1972-), 男, 湖南溆浦人, 硕士, 讲师, 从事工农业废弃物资源化研究.

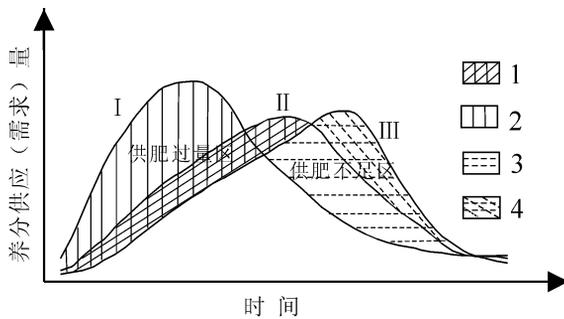


图1 肥料养分释放与作物养分需求的动态变化示意图

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

I—化肥(复合肥)养分释放曲线; II—控释肥养分释放曲线; III—作物养分需求曲线; 1—控释肥供肥过量区; 2—化肥供肥过量区; 3—化肥供肥不足区; 4—控释肥供肥不足区

养分控释的目的在于调节供肥速率, 实现动态平衡. 对于化肥这类速溶性养分, 调控的方向是缓释, 所以通常也称控释肥为缓释肥. 但是, 两者还是有区别的. 控释程度高, 即控释时间及释放量精确者, 称为控释肥. 以高聚物包膜的肥料, 多为控释肥, 如美国的 Osmocote、日本的 Nutricote, 而脲甲醛、石灰氮之类多称为缓释肥.

养分调控的方向, 除了缓释外, 还有促释, 如磷矿粉、骨粉之类肥料, 释放速率太慢, 需要促进释放. 对磷矿粉采取促释技术处理已成功, 对含 Si、K 矿物的促释的研究亦有所进展. 但这类促释的肥料, 其控释程度尚未达到高聚物包膜一类控释肥的效果, 但又不属缓释肥, 从定性的角度而言, 仍可划入控释肥范畴, 联合国工业发展组织和美国的划分亦是如此<sup>[1,4]</sup>. 这样有助于全面理解控释的两个技术方向—缓释和促释, 并在技术开发中全面运用.

## 2 养分控释的技术途径和控释原理

养分控释大致有3类: 包膜法、非包膜法和综合法. 包膜法是一种主要的控释技术, 通常实现养分控释的方法是包膜, 所以包膜肥是一种常见的控释肥. 非包膜法也可以实现控释, 通过化学合成法制得的脲醛类肥料就是一例. 此外, 混合方法也是一种非包膜的控释方法, 这一方法简单有效, 今后将有较大的发展. 有机无机复肥亦是一种非包膜的控释肥. 现有的研究表明, 采用各种技术组合, 有机无机复肥的控释功能还可以进一步提高, 有望成为控释肥中一种重要的品种. 综合法即综合运用上述包膜、非包膜法, 进行“纵向复合”, 即不同释放速率的配合, 达到纵向平衡的目的. 例如, 采用某种控释材料与肥料混合造粒(非包膜法), 再在表面进行包膜处理; 又如, 对某一类肥粒包裹不同厚度或不同种类的控释材料, 获得不同释放速率的肥粒单元, 把这类具有不同释放速率的肥粒单元按比例组合(异粒变速), 可获得缓急相济、快慢得当的效果.

如表1所示, 3种控释技术途径的控释原理大致有物理、化学、生物三类. 包膜方法是一种物理控释, 非包膜方法则包含了物理、化学和生物三类控释原理.

包膜法的控释原理为物理控释, 影响因子主要是温度, 故容易精确地实现养分释放时间和数量的控制, 亦有一套较完善的方法测定其控释性能. 但是, 由于控释材料和设备昂贵, 产品成本高, 难以进入大田. 因此, 需另辟蹊径开发新的包膜设备和材料, 建立有中国特色的包膜技术体系. 目前, 郑州工业大学磷复肥研究所、北京农科院植物营养与资源研究所和山东农业大学资源

表1 养分控释技术途径和控释原理

Table 1 Way and principle of nutrient controlled-releasing

类型	技术途径	产品举例	控释原理	评价
包膜	单层、多层	涂层尿素, 包膜尿素, 乐喜施一, 二代产品	物理(膜阻隔)	设备、材料难度大, 宜另辟蹊径
非包膜	混合、化合	有机复肥, 长效碳铵, 脲甲醛, 石灰氮, 氨氧化木素氮肥, 粘胶肥	物理(混合控释), 化学(形成新化学键、新物质), 生物(酶活性、微生物活性调控)	设备材料易得, 需完善提高
综合	内混外包、异粒变速	包膜有机复肥, 纵向复合肥(多速复合肥 $V_1, V_2, V_3, \dots$ )	物理, 化学, 生物	可灵活运用, 适应性广

环境学院在这方面都取得重要进展. 其中郑州工业大学磷复肥研究所不仅在国内建厂, 还取得了美国专利, 并成功地在美国建厂. 华南农业大学资源环境学院则在探索用低成本控释材料和非专用设备生产包膜肥方面获得初步成功. 相对而言, 非包膜途径, 尤其是混合法, 具有设备、控释材料成本较低、易实施的优点, 通过进一步完善提高现有技术, 今后将会发挥更大作用.

### 3 对控释肥的质量评价的思考

作为一种新型肥料, 控释肥的本质特征是控释性能. 对控释肥的质量评价, 当然要测定其养分含量, 但最重要的是检测其控释的性能. 对控释肥产品的控释性能的测定, 国内外均有相当多研究<sup>[5-17]</sup>, 但是, 目前尚未有一种为国内外广泛接受并适用于所有控释肥的方法<sup>[18,19]</sup>.

包膜控释肥的控释性能检测方法较为完善, 但目前尚没有一种公认的标准方法. 通常用水浸泡方法对包膜肥料进行产品在线监测, 简单、快捷, 已为国内外一些科研单位和企业采用. 但如何根据检测的结果作出切合实际的质量评价, 即如何对测定结果作出合理的解释, 则仍然存在一些问题和分歧. 例如, 某些包膜肥料水泡后在较短时间内(3天)就基本溶出, 但在实际应用时却显示有3个月长的肥效, 作物生长很好. 笔者认为, 实验室检测与大田肥效是对控释肥质量评估的2个方面, 二者既有区别又密切相关. 这种相关是客观存在的, 实验室测定结果的科学解释, 才能准确反映这一相关. 对实验室检测结果的评价是否合理, 必需以大田肥效或盆栽试验作为依据. 换言之, 只有与大田肥效或盆栽试验相结合的实验室检测评价, 才是有实用价值的. 用水浸泡方法的结果与实际肥效是密切相关的, 但是水浸泡法往往易产生评估偏低的倾向. 这是由于肥料养分的控释效果在很大程度上与对养分具有

较强吸持能力的土壤有关, 而这是水泡法所无法反映出来的. 若采用“土-肥”淋溶法测定养分控释性能, 与实际情况较为相近. 但该方法较为耗时, 多不用于产品的在线测定, 而用于科研.

肥料施入土之后, 其释放性能除受到土壤的强烈影响外, 还受到天气(温度、降雨)的影响, 因此, 客观地、合理地评价控释肥的控释性能, 不宜孤立地测定控释肥产品, 而应结合土壤一起研究, 亦即把“肥-土”作为一个整体来研究. 应用“肥-土”整体研究的观点, 可望澄清一些模糊的看法, 推进对控释肥质量评价方法的研究进展. 显然, 这方面的深入研究是很有意义的.

对包膜肥料的实验室检测方法, 较为完善, 但不宜简单地套用于非包膜控释肥, 因为非包膜控释肥不仅具有物理控释, 而且还具有化学和生物控释的机理, 简单套用的结果与实际肥效相差悬殊. 笔者的研究表明(表2), 非包膜处理的控释尿素和磷铵在等重条件下(养分较低), 都显示明显的肥效, 甚至不亚于经长时间浸泡仍未完全溶解的包膜尿素, 但用水浸泡法检验, 非包膜处理肥料一般在1h内散开溶解.

可见, 对于不同机理的控释途径, 简单地套用包膜控释肥的测试方法是不适合的, 应该考虑针对性地采用相应的检测方法. 这方面的工作还很薄弱, 尤其是采用生物技术的控释肥(如肥料中加入硝化抑制剂、脲酶抑制剂), 还有很多工作要做. 非水溶态而又易于转化为水溶态的“准水溶态”养分在养分控释方面有重要作用, 对养分供应强度和持续性方面有重要影响<sup>[20-22]</sup>, 但是套用水浸法和土壤淋溶法却几乎不能对这些特定成分做出评价. 可见, 无论是对于不同的机理来说, 或是对于不同形态的养分来说, 都需要研究相应的检测方法. 这对于推动应用各种控释机理, 在离子态和水溶态以外的各种养分形态中发展控释技术是十分必要的.

表2 包膜和非包膜控释肥的盆栽试验生物量比较

Table 2 Comparison of pot biomass of coated non-coated controlled-release fertilizer

试验	磷 铵		尿 素				
	磷铵	有机控释材料 a 与磷铵混合	有机控释材料 b 与磷铵混合	尿素	有机控释材料 a 与尿素混合	无机控释材料 与尿素混合	无机控释材料 包膜尿素
生物量 (g·盆 <sup>-1</sup> )	18.92	19.65	20.75	61.65	71.62	62.80	64.70

注:①供试作物和土壤——甜玉米,赤红壤心土.②均为肥料等重试验,磷铵试验K肥量相等;N肥试验P、K肥量相等.

## 参考文献:

- [1] Martin ET. Controlled - release and stabilized fertilizer in agriculture [M]. Paris: International Fertilizer Industry Association. 1997. 11.
- [2] Liao Zongwen, Fan Xiaolin, Liu Kexing, *et al.* Column orientation - balance (COB) and technique development for controlled - release fertilizer (CRF) [A]. Wang Guanglong. Chemical Fertilizer Technology and Equipment [C]. Beijing: Chemical Industry Press. 1999. 98 - 103.
- [3] 刘可星, 廖宗文. 平衡施肥概念的发展及其技术开发 [J]. 磷肥与复肥, 1997, (6): 64 - 65.
- [4] 联合国工业发展组织. 化肥手册 [M]. 北京: 中国对外翻译出版公司, 1984. 398 - 405, 359.
- [5] Oertli J J, Lunt O R. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1962, 26: 579 - 583.
- [6] Lunt OR, Oertli JJ. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: II. Efficiency of recovery, influence of soil moisture, mode of application, and other consideration related to use [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1962, 26: 584 - 587.
- [7] Blouin M, Rindt W, Moore O. Sulfur - coated fertilizers from controlled release: pilot plant production [J]. J. Agric. Food Chem., 1971, 19: 801 - 808.
- [8] Gambash S, Kochba M, Avnimelech Y. Study on slow - release fertilizers: II. A method for evaluation of nutrient release rate from slow - releasing fertilizers [J]. Soil Sci., 1990, 150 (1): 446 - 450.
- [9] Diez JA, Cartegna MC, Vallejo A, *et al.* Establishing the solubility kinetics of N in coated fertilizers of slow - release by means of electroultrafiltration [J]. Agr. Med., 1991, 121: 291 - 296.
- [10] Gandeza AT, Shaoji S, Yamada I. Division S - 8 - fertilizer management & technology: Simulation of crop response to polyolefin - coated urea: I. Field dissolution [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 1462 - 1467.
- [11] Zhang M, Nyborg M, Ryan JT. Determining permeability of coatings of polymer - coated urea [J]. Fert. Res., 1994, 38: 47 - 51.
- [12] 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.
- [13] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告. 第三报 包膜 (包裹) 型控制释放肥料各国研究进展 [J]. 磷肥与复肥, 2000, 15 (6): 6 - 10.
- [14] 徐和昌, 柯以侃, 郭立新等. 几种缓释肥料包膜的性质和分析方法 [J]. 中国农业科学, 1995, 28 (4): 72 - 79.
- [15] 熊又升, 张行峰, 熊桂云, 等. 包膜缓释肥料养分释放速率评价方法的探讨 [J]. 磷肥与复肥, 1999, 14 (1): 21 - 22.
- [16] 段平. 缓效多营养包硫尿素氮溶出速率的实验研究 [J]. 磷肥与复肥, 2000, 15 (2): 21 - 22.
- [17] 侯翠红. 控制释放肥料养分释放特性的研究 [J]. 磷肥与复肥, 1998, 13 (4): 6 - 8.
- [18] Shaviv A. Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers [A]. Van Cleemput *et al.* Progress in Nitrogen Cycling Studies [C]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996, 285 - 291.
- [19] Hall WL. New methodology for slow - release fertilizers [A]. Book of Abstracts 218<sup>th</sup> ACS National Meeting [C]. New Orleans, 1999, 780.
- [20] 吴平霄, 廖宗文, 毛小云. 无机 (矿物) 改性碳酸氢铵对蔬菜生物量的增效作用研究 [J]. 高校地质学报, 2000, (2): 367.
- [21] 吴平霄, 廖宗文, 毛小云. 改性尿素的肥效及淋溶特性研究初探 [J]. 土壤与环境, 2000, 9 (1): 75 - 76.
- [22] 吴平霄, 毛小云, 廖宗文. 改性磷肥的红外光谱谱学特征初报 [J]. 华南农业大学学报, 2000, 21 (2): 91 - 92.

## Review of fertilizer nutrient controlled - release technology, principle and quality

SONG Bo<sup>1</sup>, LIAO Zong-wen<sup>2</sup>, ZHONG Xue-mei<sup>1</sup>, DU Jian-jun<sup>3</sup>

(1. Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China; 2. College of Resources and Environment, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China; 3. The Agronomy Department of Zhongkai Agrotechnical College, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** It is stated about the significance of nutrient controlled - release to improve fertilizer utilization ratio and decrease non - point pollution, the supply and demand balance relationship of fertilizer nutrient, the main technical ways and principle of nutrient controlled - release, the resources of controlled - release materials and the selection of machine. It is necessary to take soil into account and fertilizer soil as a unit in quality evaluation to make it more objective and reasonable one.

**Key words:** controlled - release fertilizer (CRF); nutrient controlled - release technology; quality evaluation