

## 缓/控释肥的最新研究动态及其展望<sup>\*</sup>

李卫华, 陈超, 黄东风, 邱孝煊

(福建省农业科学院 土壤肥料研究所, 福州 350013)

**摘要:** 缓/控释肥研制和开发是肥料领域的热点, 其对提高作物肥料利用率和保护生态环境有着十分重要的现实意义。通过对缓/控释肥料的类型、最新研究动态及评价方法等方面的阐述, 提出了近年来国内外控释肥料存在的问题, 并展望了今后缓/控释肥料的研究方向。

**关键词:** 缓/控释肥; 研究动态; 养分利用率

中图分类号: S145.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0263-04

## New Studies Trend and Prospect on Slow or Controlled Release Fertilizer

LI Wei-hua, CHEN Chao, HUANG Dong-feng, QIU Xiao-xuan

(Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** It is hotspot of fertilizers to study on and develop slow or controlled release fertilizer, which is important to increase use rate of fertilizer and protect environment. The report expatiates the types, new studies trend and evaluation of slow or controlled release fertilizer, and put forward problems of slow or controlled release fertilizer in home and oversea recent years and its research trends.

**Key words:** slow or controlled release fertilizer; studies trend; nutrient utilization efficiency

世界化肥的生产和施用经历了 3 个阶段: 20 世纪 60 代以前为第一阶段, 生产和使用的化肥为单质低浓度化肥, 如硫酸铵、氯化铵、过磷酸钙等, 60~70 年代为第二阶段, 发达国家发展高浓度化肥和复合肥, 如尿素、磷一铵、二铵等, 并生产和使用 N、P、K 三元复合肥; 80 年代以后为第三阶段, 生产和使用复混肥<sup>[1]</sup>。20 世纪 90 年代控释肥料成为国内处研究的热点<sup>[2-3]</sup>。据联合国粮农组织 (FAO) 统计, 施用化肥可提高作物单产 55%~57%, 提高总产 30%~31%<sup>[4]</sup>, 目前化肥施用中存在的主要问题一是化肥用量大, 利用率低; 二是化肥施用不合理而造成环境污染, 农产品品质降低, 出现严重的食品安全问题。我国氮肥当季利用率仅为 30%~35%, 磷肥的当季利用率为 10%~25%, 钾肥的当季利用率为 35%~50%<sup>[5]</sup>。其中 N 肥的损失特别严重, 据测算我国从 1985~1996 年, 仅仅氮的损失就达 1 980 亿元<sup>[6]</sup>。化肥利用率低直接造成了大量的经济损失, 据保守估计, 如果我国化肥的利用率提高 10 个百分点, 以我国现有的化肥消费水平计算, 每年可节约化学成本 100 亿元以上<sup>[7-8]</sup>。化肥利用率低不仅造成资源的浪费, 降低了农业生产经济效益, 而且带来了严重的环境问题<sup>[9-10]</sup>。

如何提高肥料利用率已经成为广大科技工作者共同关注的问题。目前化肥利用率低和污染严重的主要根源是肥

料释放的养分与作物需求间的不平衡所致, 控释肥料就是以速效化肥为基本, 通过各种技术措施预先设定肥料在作物生长季节的释放模式, 使其养分释放规律与作物养分吸收尽可能同步, 从而达到提高利用率、提高肥效、减少肥料对环境的污染<sup>[11-12]</sup>。与普通肥料相比, 其肥效长、一次施用能够满足作物整个生育期生长的养分需求, 可以减少施肥次数并提高作物产量, 从而降低施肥作业成本, 提高经济效益。

### 1 缓/控释肥料的概念区分

#### 1.1 缓释(缓效)肥料

施入土壤中能缓慢释放其养分的肥料称为缓释肥料, 它对作物具有缓效性或长效性。显然, 这种能缓慢溶出所含养分的肥料, 可提高肥料中养分的吸收率, 使养分流失减少。如尿素与甲醛反应生成的脲醛肥料 (ureaform, UF)、异丁叉二脲 (IBDU) 和包硫尿素 (SCU) 等。

#### 1.2 控制释放(肥效调节)肥料

美国作物营养协会 (AAPFCO) 对控释肥料的定义为: 所含养分比速效肥料具有更长肥效的肥料。并认为缓释肥料与控释肥料没有严格的区别。联合国工业发展组织 (UNIDO) 委托国际肥料开发中心 (IFDC) 编著写的《化肥手册》第 21 章控释释放肥料的定义: “能够在整个生长季节, 甚至几个生长季

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-05-19

基金项目: 福建省重点项目 (2007T0015); 福州市科技计划项目 (2006-N-100)

作者简介: 李卫华 (1980-), 男, 江西安福人, 助理研究员, 主要从事土壤肥料及生态农业、环境保护等方面研究工作。E-mail: lw76257@yahoo.com.cn

节慢慢地释放植物营养元素的肥料,称为控释肥料”<sup>[13]</sup>。根据这个定义,控释肥料应包括包膜肥料、包裹肥料、涂层肥料、肥效调节剂等能够延缓肥料养分释放的肥料。

## 2 国内外控释肥料的研究现状

控释肥料的研究和应用最早的是美国。1961 年以硫磺为包膜材料的研究和开发标志着控释肥研究和应用的开始,目前日本和美国在控释肥料的研究方面处于世界领先地位。我国在 20 世纪 70 年代初,在李庆逵先生主持下由中国科学院南京土壤研究所和南京化工研究所合作研制成应用钙镁磷肥包膜碳铵成我国最早的控释肥<sup>[14]</sup>。90 年代以来由浙江大学研究用塑料包裹常规复肥,以减少肥料挥发与淋失。1991 年孙以中提出用磷矿粉包裹尿素用浓硫酸或磷酸为反应性粘结剂,研制出了酸化磷矿复合肥料 1994 年,王好斌等人开发了以微溶性二价金属磷酸铵钾盐为包裹层,多层包裹粒状水溶性肥料而制得控制释放肥料,为第三代包裹型复合肥料 1995 由郑州工学院研制出包裹型复合肥(商品名为“乐喜施”)该肥料以粒状速效肥料为核心(如尿素、硝酸铵、重过磷酸钙等),以枸溶性钙镁磷肥为包裹层,根据不同作物的需要,在包裹层中加入 K 肥、N 肥增效剂、农药等,以无机酸复合物、缓溶剂为粘结剂而制成适于多种作物的专用型复合肥<sup>[15]</sup>。随后山东农业大学也生产的包膜控释肥(18-6-12, 120 d),还有广州氮肥厂的硫包尿素等。近年来,我国启动了“863”、“948”、国家“十五”科技攻关计划、农业部科技跨越计划等多项研究课题,开展控释肥料的基础理论与应用技术研究,已取得了阶段性成果。另外,湖南、广东、北京、河南、浙江、山东、福建、江西等省的农科院和高等院校也相继进行了这方面的研究,并有相应的产品问世<sup>[4]</sup>。到 90 年代中期,控释肥料的全球年产量达到 50 万 t,其中,美国是最大的生产消费国。我国的消费量在 2 万 t 左右。

## 3 国内外缓控释肥料的类型

目前,国际上出现的缓控释肥料主要有以下地区 4 种类型:含转化抑制剂类长效肥料、合成有机氮类缓释肥料、包膜(裹)型缓控释肥料、载体类缓/控释肥料。

### 3.1 含转化抑制剂类长效肥料

应用脲酶抑制剂和硝化抑制剂,减缓尿素的水解和对铵态氮的硝化-反硝化作用,从而减少肥料氮素的损失。硝化抑制剂与氮肥混合施用,阻止铵的硝化和反硝化作用,减少氮素以硝化和气态氮形态损失,提高氮肥利用率。主要产品是吡啶、硫脲等的衍生物<sup>[16]</sup>。例如 DMPP,它显著降低  $\text{NO}_3^-$  - N 淋失<sup>[17-18]</sup>。

由于铵态氮肥本身也可以快速被植物吸收利用,它本身不能延缓肥料的养分释放更不能控制肥料的养分释放,因此也有人认为这类肥料不能称为缓控释肥料,常称之为稳定态氮肥或者说长效肥料。

### 3.2 有机合成微溶态缓释肥料

是目前国外市场占比最大的控缓释肥料品种<sup>[19-25]</sup>。将尿素转化成难水解的脲甲醛、草草酰胺等,使其在水中的

溶解度降低,在土壤、水或微生物的作用下,缓慢降解,释放出养分,释放速度由肥料的颗粒大小和土壤微生物活性决定。该类肥料的养分释放缓慢,能够有效地提高肥料利用率,例如黄云等<sup>[26]</sup>采用微区试验探讨了脲甲醛(UF)对莴苣(*Lactuca sativa* L.)生长、产量及利用率的影响,并与常规氮肥品种进行比较,其产量明显的表现为,  $\text{UF} > \text{CO}(\text{NH}_2)_2 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,这表明脲甲醛能起到缓释作用。但其只限于氮肥,养分速度受到土壤水分、pH 值、微生物等各种因素的影响,不能较好地控制肥料养分释放速度。肥料成本也很高。

### 3.3 包膜(裹)类缓/控释肥料

这类肥料以亲水聚合物包裹肥料颗粒或把可溶性活性物质分散于基质中,从而限制肥料的溶解性<sup>[9]</sup>。可分为无机矿物包衣、硫包衣和树脂包衣等。山东农业大学资源与环境学院采用普通尿素、复合肥以有机高分子聚合物在流化床包膜塔中进行包膜的控释氮肥和控释复合肥在草莓上的应用,其产量比普通肥料的增幅达 20.77% ~ 81.11%,相对于普通肥料,控释氮肥提高了土壤中有效氮的含量,控释复合肥提高了土壤中有效氮磷钾的含量<sup>[27]</sup>。另外,在棉花盆栽上的应用效果表明,包膜控释肥施用纯氮量分别在 0.2、0.4 g/kg 时比相同施氮量普通复肥具有显著的增产作用,相对增产率分别为 113.1% 和 34.5%,而且在施用量减少的情况下,仍能获得高于普通复肥的产量<sup>[28]</sup>。唐拴虎<sup>[29]</sup>研究,一次性施用控释肥土壤氮素供应明显高于专用肥分次施用,施用控释肥能促进根系发育,拓展根系分布范围,显著增加根系重量、体积及总吸收面积,并能增强根系活力,同时,能提高灌浆期功能期叶绿素含量,减缓旗叶可溶性蛋白降解,增强 CAT 酶活性,有助于延缓后期衰老,促进灌浆,增加穗粒数。在等养分用量下,一次性施用控释肥还能显著增加茎基部粗度和根深指数,减低茎根比,增强植株抗倒伏能力,改善水稻的高产稳产性能。

### 3.4 载体类缓/控释肥料

载体法是指利用适宜的高分子材料为载体或吸收肥料养分而形成的供肥体系,这实际上是利用分子骨架包膜的控释肥料<sup>[8]</sup>。胶粘肥料就是其中的一种,利用有一定黏性和网状结构的聚合物,通过物理的或化学的机制来控制养分的释放。另外,还可将养分分子放入难溶于水且有很大分子内空间的网络型高分子化合物(如某些共混改性或化学改性的橡胶),利用载体疏水性、空间位阻或化学降解的速度来控制养分的释放<sup>[30]</sup>。对于载体型控释肥料最重要的一点是所用的载体必须是可降解、对环境友好的。

## 4 缓控肥料的质量评价方法

控释肥料作为一种新的肥料,其性能如何是大家最关注的焦点,从该肥料一问世开始,就有许多学者开始效力于其养分释放的评价方法的研究,但是由于对控释肥料养分释放机理、途径等方面的研究还不够全面,因此迄今为止还没有一套完善的、国际认可的评价方法。目前较为常用的是水中溶出率法和土壤溶出率法。其中水溶出率法以欧洲标准委

员会提出了评价为典型: 它应具备的条件是:

在 25℃ 条件下: (1) 肥料中养分 24 h 不大于 15%; (2) 28 d 内肥料养分释放不超过 75%; (3) 在规定的时间内, 养分释放率不低于 75%。

以上标准多数以在水中溶解为主, 以肥料养分溶解在水中速度为准。如果以上条件为评价缓控释肥料的标准, 含转化抑制剂类长效肥料则不能称为缓控释肥料, 因为肥料施入土壤后很快会在土壤水分作用下溶解, 不能延缓和控制肥料的养分释放, 但溶解的养分会以比较稳定的状态延长保留在土壤中的时间, 减少损失, 提高肥料利用率。因此, 此种方法虽然较为简便, 但是与实际生产情况有较大偏差。土壤水分是含有各种养分离子的盐溶液, 与静态水有较大的区别, 此方法也没有将“土-肥-水”作为一个整体来研究, 单以静态水中溶出率法来评价控释肥料的养分释放速度难于达到满意的效果。有些包膜肥料泡水后在较短的时间内(3 d)就基本溶出, 但是在实际应用中作物却生长很好, 表现出长达3个月的肥效<sup>[31]</sup>。

土壤淋溶法是将供试肥料装入有载体的封闭过虑系统中, 淋洗后测定所得肥料浸提液的养分含量。载体可以是土壤, 也可以泥炭、蛭石等。化学肥料的肥效期不仅取决于肥料本身的溶解性或养分释放期, 还与它在土壤中的行为密切相关<sup>[32]</sup>, 淋溶法考虑到了“土壤-肥料-水”的整体性, 在一定范围内克服了水中溶出法在这方面存在的缺陷。但是, 淋溶法也只是局限于在实验室条件下实施, 并且淋溶载体也只是“模拟土壤”或经过处理后的土壤, 与自然土壤有一定的差别。因此, 该方法还有待进一步改善。侯翠红对土壤淋溶法进行了改进, 将约 6 cm 高的模拟土壤放于约 9 cm 高、底部均匀布有渗透孔的容器内, 在中层均匀放入 2 g 肥料, 使模拟土壤为水所饱和, 置于用蒸馏水饱和的毛细垫上, 并放入 600 ml 烧杯中, 烧杯保持一定高度的水以建立毛细现象, 最后将整套装置密闭(恒温 16℃), 以防水分蒸发。应用此法测得控释肥料“乐喜施”中 N 素的释放规律符合以下回归方程, 相关性达到显著水平( $r = 0.997$ )

$$Y = \exp(-2.4716 + 0.3458 \ln x)$$

式中:  $Y$ ——氮素溶出率;  $x$ ——淋溶时间<sup>[33]</sup>。

此外, 还有很多学者应用“7 d 静置溶出速率法”<sup>[34]</sup>、电超滤法<sup>[35]</sup>、同位素追踪法<sup>[36]</sup>等进行控释肥料性能的评价。其中同位素追踪法用于养分释放的监测, 准确可靠, 有望成为缓/控释肥料研究的较好方法, 但是用该方法研究控释肥料养分释放特性的报道还比较少, 主要原因是同位素标记控释肥料成本很高, 难以广泛应用。

## 5 存在的问题及研究方向展望

(1) 在控释技术、控释材料和生产工艺研究上没有突破性进展。由于控释材料, 生产工艺的复杂, 致使控释肥的价格居高不下。为了降低控释肥料的价格, 一方面在控释材料方面必须尽量选择天然或半天然产品, 另外, 需尽量选择简单生产工艺, 以此达到降低成本的目的。针对这种情况, 今后应该改进控释肥料的生产工艺, 寻找高效、廉价的控释材

料, 使其能够广泛应用于各种大田作物。

(2) 养分释放特性的测试方法需要进一步完善。水中溶出率法较为粗放, 适用的范围也很有限, 但其操作简单, 进一步改进可作为控释肥的初评和工业化在线质量控制的方法。同位素示踪法用于养分释放的监测, 准确可靠, 有望成为控释肥研究的较好方法, 但成本太高, 这方面的研究需要加强。另外, 不同控释肥的释放特性各不相同, 因此所采用的评价方法应该也有所区别。

(3) 就目前国内外动态看, 在市场上控氮肥偏多, 而在复合肥或专用肥上研究极少, 而目前的市场需求量是以复合肥和专用肥为主, 其研究方向应该结合农业生产实际需要而有所改变。

(4) 控释肥的农业效果评价目前只针对养分释放率和作物产量等方面的工作。缺乏系统全面地对缓/控释肥的肥料养分去向和对环境影响等方面的量化评价, 以及在对作物品质方面的影响少有研究报道。因此, 有必要进一步系统、严格地评价缓/控释肥在土壤作物系统中的运移和对环境的影响, 为缓/控释肥的研究与推广提供科学依据。同时还有省时省工以及减少环境污染等特点, 具备良好的社会效益和经济效益<sup>[37]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 赵先贵, 肖玲. 控释肥料的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 95-97.
- [2] 樊小林, 廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 1984, 4(3): 219-223.
- [3] 林葆. 中国肥料的跨世纪展望植物保护与植物营养研究进展[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 453-457.
- [4] 徐万里, 周勃, 刘骅, 等. 控释肥料的研究及其进展[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 25(4): 17-21.
- [5] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 14-16.
- [6] 黄立章, 石伟勇, 吴建富. 控释肥料的研究动态与展望[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2002, 24(5): 727-730.
- [7] 王少先, 袁克勤, 萧浪涛, 等. 肥料缓释控释技术研究进展[J]. 河北农业科学, 2003, 7(1): 54-53.
- [8] 杜昌文, 周健民. 控释肥料的研制及其进展[J]. 土壤, 2002(3): 127-133.
- [9] 翟海军, 高亚军, 周建斌. 控释肥料研究概述[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 320(1): 45-48.
- [10] Solomon A, Kazuyuki I. Comparative Effects of Application of Coated and Non-Coated Urea in Clayey and Sandy Paddy Soil Microcosms Examined by the <sup>15</sup>N Tracer Technique[J]. Soil Sci. Plant Nutr., 2004, 50(2): 205-213.
- [11] 于立芝, 李东坡, 俞守能, 等. 缓/控释肥料研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1559-1563.
- [12] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 等. 保水缓/控释肥料的研究

- 进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 184-190.
- [13] 联合国工业发展组织. 化肥手册[M]. 中国对外翻译出版公司, 1984: 398-405.
- [14] 许秀成, 李的萍, 王好斌. 包裹型肥料/控释肥料的专题报告: 第一报: 概念的区分及评判标准[J], 磷肥与复肥, 2000, 15(6): 1-12.
- [15] 张宝林, 侯翠红. 提高肥料利用率的研究初报: 包裹型复肥及其应用[J]. 郑州工学院学报, 1996, 17(2): 106-113.
- [16] 徐秋明. 缓控释肥料的进展与展望[J]. 中国科技成果, 2004(7): 4-7.
- [17] Azam F, Benckier G, Müller C, et al. Release, movement and recovery of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium thiosulphate[J]. Biol. Fertil. Soils., 2001, 34: 118-125.
- [18] Serna M D, Bauls J, Quiones A, et al. Evaluation of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus. cultivated soil[J]. Bio1. Fertil. Soils, 2001, 32: 41-46.
- [19] Greidinger D S, Cohen L. Fertilizer Compound of the Ureaform Type and a Method for Production There-of [P]. US, 4089899. 1978-09-08.
- [20] Justice G H, Formani R E. Process for Producing Urea-formaldehyde Aqueous Concentrates I [P]. US, 3462256. 1969-02-25.
- [21] Sartoretto P. Urea-Formaldehyde Dispersions Modified with Higher Aldehydes [P]. US, 4298512. 1981-05-12.
- [22] Moore W P, Jr. Urea-Formaldehyde Solution for Foliar Fertilization [P]. US, 4244727. 1981-04-27.
- [23] Clark K G, Lee K Y, Love K S. New Synthetic Nitrogen Fertilizer Preparation and Properties of Urea-formal [J]. Ind Eng Chem, 1948, 40: 1178.
- [24] 潘鹤林, 田恒水. 异丁叉二脲生产过程研究开发[J]. 兽药与饲料添加剂, 1998(3): 19-20.
- [25] 郑学根. 异丁叉二脲的合成及应用[J]. 湖北化工, 1999(2): 25-26.
- [26] 黄云, 廖铁军, 王正银, 等. 控释氮肥对莴苣生长及氮肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 2(2): 219-222.
- [27] 邵蕾, 张民, 王丽霞. 不同控释肥类型及施肥方式对肥料利用率和氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 115-119.
- [28] 孙强生, 张民, 苏秋红, 等. 控释肥在盆栽棉花上的肥效研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 133-136.
- [29] 唐拴虎, 杨少海, 陈建生, 等. 水稻一次性施用控释肥料增产机理探讨[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2511-252.
- [30] Lu SM and Lee Sf. Slow release of urea through latex film[J]. of controlled release, 1992, 18: 171-180.
- [31] 宋波, 廖宗文, 钟雪梅, 等. 肥料养分控释技术、机理和质量综述[J]. 桂林工业学院学报, 2003, 23(1): 102-105.
- [32] 许秀成, 李的萍, 王好斌. 包裹型肥料/控释肥料的专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 1-6.
- [33] 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.
- [34] Blouin M. Sulfur-coated fertilizers from controlled release pilot plant production[J]. Agric Food Chem, 1971, 19: 801-809.
- [35] Vallejo A. Nitrogen availability of soluble and slow release nitrogen fertilizers as assessed by electroultra-filtration[J]. Fert. Res. 1993, 23: 121-126.
- [36] 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.
- [37] 高海波. 演绎丰收故事: 金正大控释肥试验、示范田捷报频传[J]. 中国农资, 2006(9): 54-55.