

# 我国缓/控释肥料发展现状、趋势及对策

吴欢欢<sup>1,2</sup>, 李若楠<sup>1</sup>, 张彦才<sup>1</sup>, 霍习良<sup>2</sup>

(1 河北省农林科学院 农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051; 2 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 从分析我国化肥在生产和使用中存在的问题和现状出发, 分析了发展缓/控释肥料的必要性。通过对比国外缓/控释肥料的发展现状和趋势, 论述了国内缓/控释肥料的发展现状, 并对我国在该研究领域的走向及其需要重点攻破的问题进行了探讨。

**关键词:** 缓/控释肥料; 现状; 对策

**中图分类号:** S145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2009)增刊-00263-05

## Present Situation, Trend and Strategy of Slow/Controlled Release Fertilizers in China

WU Huanhuan<sup>1,2</sup>, LI Ruonan<sup>1</sup>, ZHANG Yancai<sup>1</sup>, HUO Xiliang<sup>2</sup>

(1. Institute of Agri resources and Environment Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences Shijiazhuang 050051, China

2. College of Resources and Environment Agricultural University of Hebei Baoding 071000, China)

**Abstract** This article analyzed the existing problems and the present situation in the production and using of the fertilizer in China and analyzed the requirement for developing slow/controlled release fertilizers. BY comparing with the developing state and the trend of slow/controlled release fertilizers abroad, the article discussed the developing state of slow/controlled release fertilizers in our country and discussed the directions and the problems requiring to be breached in the area of slow/controlled release fertilizers.

**Key words:** Slow/controlled release fertilizers; Present situation; Countermeasure

我国农业自然资源非常有限, 人均耕地仅 800 m<sup>2</sup>, 只及世界人均耕地的 44%<sup>[1]</sup>, 因此化肥的施用 在农业生产中占有重要地位。我国之所以能以世界 7%的耕地养活占世界约 23%的人口, 一半功劳归 于化肥<sup>[2]</sup>。但是, 由于我国化肥研究起步较晚, 加 之农村一家一户式的生产经营模式, 因此在化肥施 用中存在肥料用量大而利用率低、NPK施用比例与 作物需肥规律不协调等一系列问题。过量肥料在植 物根际积累, 不仅会破坏植物根系细胞结构造成盐 害<sup>[3-4]</sup>, 导致作物减产甚至死亡, 还会破坏土壤结 构、导致土壤退化以及地表及地下水体污染等<sup>[5]</sup>。

氮肥和磷肥利用率低是目前化肥施用中存在 的主要问题。我国氮肥的当季利用率 30%~35%, 磷 肥为 10%~20%, 低于发达国家 15~20 个百分

点<sup>[6-8]</sup>。目前, 在我国农村, 施肥大多凭经验进行。 农民一味追求高产而大量施用氮肥, 却对不同土壤 质地氮肥的合理施用及不同作物种类全生育期需氮 规律缺乏科学认识。这不仅导致土壤中硝态氮过量 积累, 并随大量灌水向土壤深层淋溶, 进而污染地下 水源<sup>[9]</sup>, 并且, 不合理的灌水和追肥还导致大量氮 素以氨的形式挥发损失。在北方冬小麦-夏玉米轮 作体系中, 投入的氮肥中有 2.1%~9.5%以氨挥发 的形式损失<sup>[10]</sup>。目前我国每年生产、施用的氮肥量 (以纯氮计) 约为 20 Mt, 其肥料的当季利用率只有 30%~50%, 累计利用率为 45%~60%, 氮肥的损 失平均高达 45%, 相当于损失氮肥 9 Mt, 折合成尿 素为 19 Mt。按尿素销售指导价 1 260 元/吨计算, 则 因氮肥利用率低造成的直接经济损失折合人民币达

收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2007BAD87B04-01)

作者简介: 吴欢欢 (1985-) 女, 河北博野人, 硕士, 主要从事施肥与植物营养研究。

通讯作者: 张彦才 (1956-) 男, 河北武邑人, 研究员, 主要从事植物营养与肥料研究工作。

239.4亿元<sup>[11]</sup>。磷肥在农业生产中虽然施用量大,但是施入土壤后很快被吸附到土壤颗粒表面,或与 $\text{Ca-Fe-Al}$ 等离子结合形成 $\text{Ca}_10\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al}_2\text{P}$ 、 $\text{O-P-Fe-P}$ 等有效性较低的无机形态磷。因此其利用率低,至少有70%~90%的磷进入土壤而成为难以被作物吸收利用的固定形态。尤其在蔬菜生产中,氮肥和磷肥不合理施用的情况更为明显。由于蔬菜的种植效益高,在我国一些发达地区的重要流域,蔬菜的播种面积增加,蔬菜逐渐成为了新型产业。菜农为了追求效益,超高量使用氮、磷肥料,单季作物化肥纯养分用量平均为569~2000 kg/hm<sup>2</sup>,为普通大田作物的数倍甚至数十倍,成为水体富营养化的主要潜在威胁之一。尤其2007年在太湖爆发了蓝藻之后,人们首先想到的就是化肥的污染,因此也就将提高肥料利用率提到了一个新的高度<sup>[12]</sup>。另外,据调查目前中国高氮肥用量的集约化农田已占农田总面积15%以上,城市周边地带通常可达30%以上,由此引起的地下水硝酸盐污染将对上亿人口的饮用水质量安全造成威胁<sup>[13]</sup>。

农民盲目增施氮肥、磷肥的同时忽视了钾肥的施用,造成我国农田土壤中氮、磷、钾比例失调,微量和中量元素缺乏。无机肥施用结构不合理,多数地区施 $\text{N:P:K}$ 比例为1:0.42:0.2,而合理的 $\text{N:P:K}$ 比例应为1:0.5:0.5,有些发达国家的施钾比例更高<sup>[14]</sup>。有研究显示,不同配合的肥料施入土壤对作物的氮磷表现利用率有很大影响。一定条件下,氮磷钾配合处理施用,作物对氮的总吸收量以及氮表现利用率均较高,氮的表现利用率可达48.9%。在氮磷钾两两配合施用处理中,氮磷配合处理时,氮的表现利用率达到最高,为44.6%;磷的利用趋势与氮的利用相似,仍以氮磷钾配合的表现利用率最高,为14.9%。在两两配合的几个处理中,效果最好的是氮磷配合处理,磷的表现利用率可达12.2%<sup>[15]</sup>。由此可见,从缓释或者控制肥效这点上进行深入研究,以提高化肥的利用率、改善土壤氮磷钾比例、保护农业生态环境的可持续发展,已经成为当今化肥产业的主导趋向。

## 1 缓控释肥的研究进展

为了满足作物不同时期对养料的需求,降低速效养分的释放速率,减少由于化肥尤其是氮肥利用率低所造成的污染,从20世纪60年代开始,美国、日本等发达国家就着手研究和改进化肥的制作技术,相继研制并推出缓控释肥料系列产品,使化肥的利用率得以大幅度提高。

缓控释肥料(Slow/controlled release fertilizers, CRFs)是结合现代植物营养与施肥理论,考虑作物营养需求规律,延缓或控制肥料在土壤中的释放期与释放量,使其养分释放模式与作物养分吸收相协调或同步的新型肥料<sup>[16-17]</sup>。释放的核心内容不仅指肥料的释放期,更着重强调肥料中养分的释放速率与作物需肥规律相一致<sup>[18]</sup>。通常都认为缓释与控释之间没有概念上的区别<sup>[19]</sup>。目前,美国、日本、欧洲在缓控释肥料研究方面处于领先地位。

### 1.1 缓控释肥料的种类

缓控释肥料的种类比较多,由于分类角度和方法的不同,分类有所差异。根据化学性质不同可以划分为:化学合成微溶性有机化合物、化学合成微溶性的无机化合物、加工过的天然有机化合物、包膜添加成氮肥<sup>[20]</sup>。根据溶解性释放方式不同可划分为:降解性因素控制水溶性肥料、微溶性有机含氮化合物、微溶性无机含氮化合物<sup>[3]</sup>。根据化学组成不同可划分为:包裹缓释肥料、混合缓释肥料、缩合物或聚合物缓释肥料、吸附缓释肥料<sup>[21]</sup>。

目前包膜肥料占有缓控释肥料市场的大部分。包膜肥料是指以颗粒性肥料(氮或氮磷复合肥等)为核心,表层涂覆一层或多层低水溶性或微溶性的无机物质或有机聚合物<sup>[21]</sup>。而包膜肥料又以包膜氮肥居多,其中硫包衣尿素(SCU)在市场上具有一定的主导地位,其氮素利用率可达60%~70%。并且生产工艺比较简单易行,生产价格只是普通肥料的1~2倍,它还能给植物提供多种盐基离子,特别适用于生长期较长的作物,但其不足之处是弹性差、易脆。而这是无机物包膜材料普遍存在的缺点。有研究人员用有机聚合物在硫包衣尿素上再包1层较薄的普通聚合物膜,这样就可以增强肥料的抗磨损性能,同时与那些聚合物包膜尿素相比成本又较低。

包膜肥料中的有机聚合物包膜肥料也是各国研究的主要部分。有机化合物的熔点比较低,易于熔化,水溶性差,在土壤中易于腐化分解,因而在包膜肥料中可用作包膜<sup>[22]</sup>。以天然高分子比如天然橡胶、虫胶、纤维素、木质素、淀粉等为包膜材料的肥料,其特点是材料来源广,易被生物降解,属于环境友好材料,但纯天然高分子包膜材料的控释特性较差。以合成高分子比如热塑性聚烯烃类<sup>[23]</sup>、热固性树脂如脲醛树脂<sup>[24]</sup>等为包膜材料的肥料,其特点是包膜厚度可控、对土壤条件不十分敏感,养分扩散速率可由聚合物的化学性质控制,而且由于包膜的弹性好,适合于机械化施肥。如日本采用聚乙烯与EVA的共聚物作为尿素、 $\text{KCl}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 等的包膜,通

过调节两者的比例,并以滑石粉为开孔剂,可制得缓释期从 40~360 d 的包膜缓释肥料<sup>[25]</sup>。该类包膜肥料在聚合物包膜中所占比例最大。其代表为 Osmocote Nutricote 等,它们在国际市场中占有重要位置。但是这类肥料的包膜价格高,且大多数在土壤中分解缓慢,会带来环境污染<sup>[26]</sup>。

### 1.2 国外缓/控释肥的研究状况

国外缓/控释肥料的研究已经有 40 多年的历史。美国是世界上最早研究缓/控释肥料的国家,最初以硫包衣尿素(SCU)为主,此外还有包硫氯化钾(SCK)、包硫磷酸二铵(SCP)等。之后改进的硫包衣尿素在其表面包覆 1 层烯烃聚合物,产品名为 PolyS 这种产品不仅改变了硫包衣尿素由于其材料弹性差、易脆而使其缓释性能差的缺点,并且比一般的聚合物包膜尿素的成本低,售价比聚合物包膜肥料便宜,在美国市场上被广泛使用。除此之外,还有醇酸树脂包膜工艺生产的 Osmocote OsmocotePlus Sierra Sierrablen 其中, Osmocote 仍为世界上最有影响的包膜肥料。但是其售价比较高,主要用于世界各地的温室、苗圃、园艺等景观地区。还有聚合物包膜肥料 POLYON<sup>[25,27]</sup>,这种肥料是采用“反应层包膜工艺”生产的多种类型的 POLYON 产品,被包膜的有尿素、 $K_2SO_4$ 、 $KNO_3$ 、MAP 及 NPK 复肥。POLYON 比 Osmocote 售价低,因此在美国专用肥市场占有率有重要地位。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。美国消费的缓/控释肥料 92% 用于非农业市场,其中高尔夫球场占 24%、专业保养草坪 19%、苗圃及温室 15%,仅 8% 用于高价农作物如草莓、西红柿、坚果、蔬菜、柑桔等<sup>[25]</sup>。日本是研究和应用控释肥料技术较先进的国家,研制的肥料以高分子包膜肥料为主,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 年代的缓释肥料主要是生产包膜尿素、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,目前则以生产可降解聚合物包膜肥料为主<sup>[28]</sup>。

从美国和日本的缓/控释肥料的研究和发展历程可以看出,在探寻廉价、高效的材料的同时,他们

也都比较重视环境污染问题,考虑到二次污染,在缓/控释材料上探索开发可降解种类。

### 1.3 我国缓/控释肥的研究状况

我国研发缓/控释肥料也有 30 多年历史,在包膜材料选择、包膜工艺的开发上都已取得可喜进展。与国外不同,中国包膜肥料的研究开始较集中在寻求改善碳铵的挥发性上,先后推出沥青包膜碳铵、钙镁磷包膜碳铵等。由中科院南京土壤所用钙镁磷包膜的碳铵,不仅控制了养分的释放而且抑制了氨的挥发,具有良好的肥效,经试验证明它的肥效比等氮量硫包尿素高<sup>[8]</sup>。

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。1983 年开始,郑州工学院等在国内率先系统开展了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)、二价金属磷酸铵钾盐包裹尿素(1995)3 类不断升级换代产品,养分控制释放时间超过了 95 d 突破了国内外营养材料包膜养分释放控制难度大的关键技术,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)<sup>[29]</sup>。1986 年,广州氮肥厂研制了涂层尿素,它是在尿素颗粒表面喷涂一层含有微量元素的胶状有机物。其包膜液的成分可根据不同作物的需要而进行灵活调节,因此更加符合作物的需要。据全国 11 个省市 80 个试验点统计,粮食平均增产 4%~10%,利用率提高 6~8 个百分点。同年,北京化工学院开始筛选可降解树脂的包膜材料,最后建成了日产 10 吨以脲醛树脂为包膜剂的控释肥料装置。中科院兰州化学物理所试验用生物可降解高分子材料(聚乙烯醇磷酸脲、聚乙烯醇缩脲等)作包膜材料制成了包衣尿素<sup>[30]</sup>。

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。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<sup>[31,32]</sup>。20 世纪 90 年代末,由沈阳农业大学韩晓

日主持的教育部留学回国人员基金“新型包膜控效专用化肥研究”和辽宁省自然科学基金“新型水稻

玉米控释专用化肥研究”,完成了应用聚乙烯醇(PVA)和淀粉为主要成分的合成包膜剂,包膜与氮肥增效剂、缓释剂、保水剂及土壤改良剂等混合包膜工艺,实现了常温下包膜,养分控释效果好,并可根据作物种类、土壤条件调节包膜材料的比例和厚度,以保证1次施肥就能满足作物整个营养期对养分的需求,同时所用包膜材料在土壤中能降解,无毒副作用,符合环境友好型肥料的要求。该项目研究填补了国内在该领域的空白<sup>[28]</sup>。1998年浙江农大还开发了聚合物包膜肥,湖南省土肥所研制成水专用控释肥。2003年中国农大研制成以聚烯烃类材料为主的复合型膜材料包膜控释尿素,价格仅为国际同类产品的1/4左右<sup>[33]</sup>。

## 2 我国缓控释肥料生产与应用存在的问题及对策

### 2.1 价格昂贵

虽然,缓控释肥料在一定程度上可以给我国带来相当可观的利益(可以抵消环境污染所造成的损失)<sup>[34]</sup>。但是与普通肥料相比,包膜缓控释肥料的生产成本比常规肥料高,这是限制包膜缓控释肥料在农业,尤其是在大田作物上推广应用的主要因素。由于需要对未加工的颗粒材料进行粒径分选,包膜材料价格昂贵、生产中技术工序更为复杂等原因,使得缓控释肥料比传统肥料价格高出2~8倍。比如说美国市场上品牌名称为Osmocote的产品。这是一种典型的包膜化肥。将包膜厚度不同的Osmocote按一定比例配置在同一批产品中,可以得到对营养素的释放时间和释放量都可以控制的缓释化肥。但是由于其较高的生产成本,使其不能广泛应用于大田当中,只能用于草坪、花卉栽培、苗木以及价值较高的中耕作物。因此,研制和筛选新型、高效、廉价的缓控释材料已成为目前研究的关键。也有相关试验表明,将缓控释肥料与普通化肥按一定比例配合施用,既能提高化肥的利用率又能进一步降低成本。

### 2.2 缓控释性能不稳定

在选材方面,我们不仅要考虑其价格问题,寻找较为廉价的缓控释材料,同时我们也要考虑材料的缓控释性能。目前的缓控释材料多为硫、树脂类材料,功能仅限于缓释,而促控释的材料尚缺。比如说包硫尿素,虽然硫来源广泛,但由于其弹性差、易脆等缺点,其缓控释性能不是很稳定,不能达到理想水平。另外,为了保证其缓控释性能,所开发研制的肥料要具有良好的力学及物理性质的稳定性,包膜材料要与肥料有较强的结合能力,容易包

膜;成膜后具有一定的强度,经过摩擦、挤压后不会破碎,利于储存运输。

### 2.3 残留包膜对环境的影响

虽然包膜肥料可抑制土壤 $\text{NH}_4^+$ 向 $\text{NO}_3^-$ 氧化,减少土壤 $\text{NO}_3^-$ 的积累,从而减少氮肥以 $\text{NO}_3^-$ 形式淋溶损失,减少施肥对环境的污染<sup>[17,35]</sup>。但有关膜残留问题也应当是生产和使用中重点考虑的主体。一些肥料的包膜材料尤其是有机合成的包膜材料在土壤中很难被分解,存在周期长,长期施用这种包膜肥料难免对土壤结构和理化性质造成不良影响。比如说有机物包膜肥料Osmocote Nutricote缓控释性能比较稳定,但是包膜材料由于是有机物,难降解。鉴于这一点,包膜材料应当选择降解度高、没有毒害、改良土壤等高质量的缓控释材料,避免二次污染。

### 2.4 地域性作用

不同地域温度有差异,特别是黑龙江、海南省到冬天或者春天,温度差别就很大。所以,我们在生产肥料的时候要考虑到地域性。一般肥料的试验和使用标准都以室温( $25^\circ\text{C}$ )为准,但是,当北方处于 $25^\circ\text{C}$ 时,南方一般达到 $30^\circ\text{C}$ 以上,并且在南方温度高、降雨量大,肥料释放、流失速率相对较快。另外,不同的地域,气候条件有所不同,作物的播种期和收获期也不尽相同,而且不同作物的生长期也有所差异,再加上当地农民的施肥技术和水平的不同,所以在缓控释肥料研发过程中,应当考虑到这些诸多因素,使其较有地域针对性,这样才有利于肥料充分、合理地发挥肥效。

### 2.5 农民对缓控释肥料的认知度

农民普遍缺乏对缓控释肥料的科学认识。所以,做好缓控释肥料下乡服务很重要,通过实际操作和指导,使农民改变意识,逐渐接受这种肥料。另外农民长期养成喜欢施用高浓度、高含量肥料的习惯,也很难一下子改变。这需要广泛普及缓控释肥料的相关知识及其施肥技巧。只有通过学习缓控释肥料的相关知识和施肥技能,并且通过技术人员的指导,使农民真正在大田作物上操作和实践,获益于缓控释肥料带来的经济效益和环保功效,才能使缓控释肥料得以大规模推广。当然,肥料的价格问题也是缓控释肥料得不到农民认可的一个重要原因,这就体现了开发廉价肥料的重要性,这当然也是大多数缓控释肥料不能实际应用于大田的一个主要影响因素。

## 3 展望

许多研究结果表明,施用控释肥料可使养分利

用率比常规速效肥提高 10% ~ 30%, 氮肥利用率可提高到 50% ~ 70%。达到相同或相近谷物产量水平, 用肥量可减少 10% ~ 40%<sup>[36]</sup>。据相关报道, 仅以现有尿素的利用率提高 6% 计算, 就相当于兴建多座大型化肥厂; 以增产 10% 计算, 扣除包膜所增加的化肥成本, 可增加产值近 200 亿元, 具有显著的经济和社会效益<sup>[37]</sup>。可见缓/控释肥料以其肥料利用率高、保护生态环境、节省劳力等作用赢得了各国的广泛关注, 并已成为当今化肥工业发展的主导趋势<sup>[38-39]</sup>。由于我国是一个农业大国, 因此缓/控释肥料的研制应以廉价、控释性能好、专一性高和环保为目标, 真正做到在农业生产中推广应用, 为农业可持续发展服务。

### 参考文献:

- [1] 高永峰. 国内(外)化肥工业的发展及展望[J]. 磷肥与复肥, 2007(5): 1—5
- [2] 王文善. 农业要可持续发展绝对离不开化肥[J]. 磷肥与复肥, 2003(4): 1—4
- [3] 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, 2001 28(5): 27—30
- [4] HanafiMM, Elaiib SM, AhmadM B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer[J]. European Polymer Journal 2000 36: 2081—2088
- [5] Xiaozhao Han, Sensen Chen, Xianguo Hu. Controlled release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating[J]. Desalination 2009 240: 21—26
- [6] 杜昌文, 周健民. 控释肥料的研制及其进展[J]. 土壤, 2002(3): 127—133
- [7] 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
- [8] 杨同文, 尹飞, 杨志丹, 等. 包膜肥料研究现状与进展[J]. 河南农业大学学报, 2003(2): 141—144
- [9] FernandezEscobarR, BenllochM, HerreraE, et al. Effect of traditional and slow release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching[J]. Scientia Horticulturae 2004 101: 39—49
- [10] 王朝辉, 刘学军, 巨晓棠, 等. 北方冬小麦/夏玉米轮作体系土壤氮挥发的原位测定[J]. 生态学报, 2002 22(3): 359—365
- [11] 张民, 杨越超, 宋付朋, 等. 包膜控释肥料研究与产业化开发[J]. 化肥工业, 2004 32(2): 7—13
- [12] 白由路. 结合测土配方施肥发展缓控释肥料[J]. 中国农资, 2008 20—21
- [13] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004 37(7): 1008—1017
- [14] 刘丽. 浅谈平衡配方施肥技术的应用[J]. 现代化农业, 2008(3): 22
- [15] 宋永林, 李小平. 长期施肥对作物氮磷利用及土壤速效氮磷供应能力的影响[J]. 磷肥与复肥, 2008 23(2): 71—78
- [16] 刘秀梅, 刘光荣, 冯兆滨. 新型肥料研制技术与产业化开发[J]. 江西农业学报, 2006 18(2): 87—92
- [17] 黄永兰, 罗奇祥, 刘秀梅, 等. 包膜型缓/控释肥技术的研究与进展[J]. 江西农业学报, 2008 20(3): 55—59
- [18] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型缓释/控释释放肥料专题报告. 第一报 概念区分及评判标准[J]. 磷肥与复肥, 2000 15(3): 1—6
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 熊又升, 陈明亮, 喻永熹, 等. 包膜控释肥料的研究进展[J]. 湖北农业科学, 2000(5): 40—42
- [23] WaxmanAnita, LxpñmichaeLS. Controlled release fertilizers[J]. IL 107837 1998
- [24] Andn Seinosuke, Yoshjware Hideo. Controlled release fertilizers and fertilization using them[P]. JP 11116372 1999
- [25] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000 15(4): 5—7
- [26] Dong Yan, Wang Zhengyin. Release characteristics of different N forms in an uncoated slow/controlled release compound fertilizer[J]. Agricultural Sciences in China 2007 6(3): 330—337
- [27] 许秀成, 李荫萍, 王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000 15(7): 5—7
- [28] 祝红福, 熊远福, 邹应斌, 等. 包膜型缓/控释肥的研究现状及应用前景[J]. 化肥设计, 2008 46(3).
- [29] 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004 10(5): 536—545
- [30] 何绪生, 李素霞, 李旭辉, 等. 控释肥的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1998 4(2): 97—106
- [31] 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
- [32] 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
- [33] 张玉凤, 曹一平, 陈凯, 等. 高聚物包膜尿素的氮素释放特性及其评价方法[J]. 中国农业大学学报, 2003 8(5): 83—87
- [34] Díez JA, RonanR, CaragenaM C, et al. Controlling nitrate pollution of aquifers by using different nitrogenous controlled release fertilizers in maize crop[J]. Agriculture Ecosystems and Environment 1994 48: 49—56
- [35] Gaines TP, Gaines ST. Soil Texture effect on nitrate leaching in soil percolates[J]. Commun Soil Sci Plant Anal 1994 25(13—14): 2561—2570
- [36] 栗晓万, 杜建军, 贾振宇, 等. 缓/控释肥的研究应用现状. 中国农学通报, 2007 23(12): 234—238
- [37] 许秀成. 提高肥料利用率化工部门能做什么?(续)[J]. 磷肥和复肥, 1999 14(3): 6—13
- [38] Ji Xiong-hui, Zheng Sheng-xiao, Lu Yan-hong, et al. Study of dynamics of groundwater nitrogen and regulation of its runoff loss in paddy field-based wa cropping rice with urea and controlled release nitrogen fertilizer application[J]. Agricultural Sciences in China 2007 6(2): 189—199
- [39] Tang Shuan-hu, Yang Shao-hai, Chen Jian-sheng, et al. Studies on the mechanism of single basal application of controlled-release fertilizers for increasing yield of rice (Oryza sativa L.)[J]. Agricultural Sciences in China 2007 6(5): 586—596