

缓控释肥料 理论与实践

刘宝存 徐秋明 邹国元 等著



中国农业科学技术出版社

缓控释肥料 理论与实践

■ 刘宝存 徐秋明 邹国元 等著 ■



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

缓控释肥料: 理论与实践/刘宝存等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2009. 12
ISBN 978-7-80233-840-1

I. 缓… II. 刘… III. 缓效肥料-研究 IV. TQ449

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 184197 号

责任编辑 莫小曼

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106630 (编辑室) (010) 82106624 (发行部)

(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106636

网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经销者 新华书店北京发行所

印刷者 北京华正印刷有限公司

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 19.25 彩插 8

字 数 460 千字

版 次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

定 价 50.00 元

编辑委员会

主 编：刘宝存

副主编：徐秋明 邹国元 张有山

委 员：（按姓氏笔画排序）

左 强 衣文平 刘宝存 孙焱鑫

李吉进 李亚星 肖 强 邹国元

谷佳林 张有山 赵同科 徐秋明

曹 兵

P 序 一

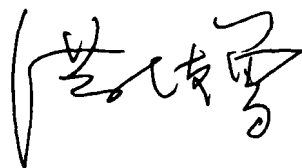
Preface

新 中国成立 60 年，我国粮食等主要农产品实现了由长期短缺向总量平衡、丰年有余的历史性跨越。在我国的粮食增产中，40% 来自于化肥的作用，但由于肥料性质与环境条件的综合影响，肥料利用率低是化肥使用中普遍存在的问题。目前我国当季氮肥利用率仅为 30%~35%，磷肥的利用率为 10%~20%，钾肥的利用率为 30%~60%，远低于世界发达国家水平。肥料利用率低不仅造成资源的巨大浪费，还给人类赖以生存的环境造成严重污染，伴随着肥料的逐年大量施入，有些地区出现地表水富营养化、地下水和农作物中硝酸盐含量超标、温室效应加剧等问题。为此，尽快为农业生产提供增产、增效、环境友好的新型肥料，对于保障我国粮食安全、保护生态环境具有极其重要的意义。

北京市农林科学院植物营养与资源研究所经过十多年的潜心研究，成功研制出国内首台喷涂式尿素包膜加工设备，并实现了产业化。研发出适合不同作物需要，释放期 50~360 天的多系列近百种作物专用控释肥料和具有保水等功能的缓释肥料。这项科研成果标志着我国缓控释肥料的研究已取得重要进展，达到国外同类产品的质量标准 and 水平。通过多种作物试验示范证明，缓控释肥料具有显著的节肥、增产、省工、环保等优势，是一种利国利民的新型肥料，在中国有广阔的市场前景。当前的主要问题是价格高。为了降低成本、利于推广，专家们通过开发连续化包膜设备，筛选高效廉价包膜、控释材料；采用控释肥与普通肥按比例配伍、一次性底肥（不追肥）等措施，降低了肥料的生产和使用成本，使其应用范围由非农业市场走向水稻、玉米等大田作物，为农民带来显著的经济效益，也为控释肥在农业生产和环境保护中发挥作用开拓了更大的发展空间。北京市农林科学院植物营养与资源研究所这一创新成果为我国缓控释肥料的生产、应用提供了有力的技术支撑。

我国缓控释肥料的研究和开发时间不长，特别是控释肥料还刚刚起步。但是，它为我国现代农业的发展，为改变和减少“石化农业”生产方式，适应全球气候变化、节能减排做出了贡献，指出了方向。希望本书的出版能进一步推动我国缓控释肥料的发展，为农业增产农民增收带来福音。

原农业部副部长
中国农学会名誉会长



2009 年 10 月 26 日

自 从 1948 年美国的 K. G. Clart 等合成世界上第一个缓释缩合肥料脲甲醛后，缓控释肥料的研发经历了一个多元化的发展过程。20 世纪 60 年代前后，缓释肥的研发主要集中在脲甲醛的生产及其应用。到了 70 年代，则侧重于脲甲醛、聚烯类等作为肥料包膜的研究。80 年代，缓控释氮肥研发突飞猛进，倾向于以硫黄、聚乙烯、磷酸镁铵等作为肥料包膜材料进行研究。目前，缓控释肥料的研究转向于包膜新材料、新型化学合成缓释肥料合成工艺方法及新型缓控释肥料长期应用对环境的影响等方面。

我国，早在 20 世纪 60 年代末，中国科学院南京土壤研究所就开始长效氮肥的研究，首先研制成功了长效碳酸氢铵。其后，在抑制剂型、包裹型肥料等方面进行了探索。近几年我国缓控释肥料发展迅速，主要采取两种技术路线，分别是将肥料进行微溶化或包膜处理来实现肥料养分的缓控释。国内不少单位开展了不同类型缓控释肥料的研究开发和应用，并取得实质性进展，有部分肥料生产设备及产品已经面世，并在农业生产中有了广泛的应用。

北京市农林科学院植物营养与资源研究所在缓控释肥料领域开展了持续的工作，我对此一直非常赞赏。众所周知，肥料生产需要消耗大量的能源，开发新型缓控释肥料可以大幅度节约资源，减少能源消耗，当然，其在环境污染防控方面的作用更不可小视。本专著反映他们在缓控释肥料领域所取得的多项重要成果。书中以 L 型、S 型二种包膜控释肥料的研发与应用为核心，重点阐述控释肥料的机制、工艺、产业化设备、推广应用及效益。其中肥料配方设计、工艺合成技术、包膜材料及溶剂筛选、连续化包衣设备制造等方面有不少创新之处，可供国内同行借鉴。书中所介绍的保水缓释肥料、脲醛缓释肥料、微水溶性胶结缓释肥料等内容也是作者多年研发的新成果，为我国缓释肥料增添了新品种。将缓控释肥料成功用于蔬菜、果树的基质栽培，有助于提高育苗和栽培质量，为加速推广蔬菜、果树工厂化育苗开辟了新途径。

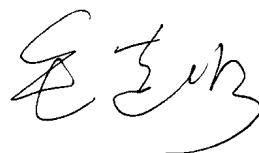
该专著的作者长期从事缓控释肥料的研发与推广工作，有些成果是在无参考资料的条件下，经过十多年的努力才取得的，L 型和 S 型的成功就是实例。其中多项成果处于国内领先地位，多项技术获得国家发明

专利。

这是我国目前比较系统地论述缓控释肥料机制、制造、应用的一部专著，具有融理论性、实践性于一体的特色。本书的出版标志着我国缓控释肥料的研发、应用进入一个新阶段。相信这本著作的出版必将进一步推动我国缓控释肥料的健康发展。同时，我们也要看到，缓控释肥料目前我国还处于起步阶段，无论在理论研究还是在实践应用方面都存在不少问题，今后要在产业化配套工艺技术、多种作物应用技术和降低产品成本等方面继续深入研究，为我国缓控释肥料的生产、应用做出更大的贡献。

值此中华人民共和国成立 60 周年之际，对《缓控释肥料理论与实践》一书的出版感到十分欣慰，并致以真诚的祝贺。希望本书能够成为广大农业科技、文教工作者特别是从事土肥、农学、环境及肥料企业界同行的重要参考资料。

原全国人大常委会委员
中国农业大学校长



2009 年 11 月 26 日

我国化肥，特别是氮肥利用率低，与肥料形态密切相关，目前的氮肥易溶于水，在土壤中存留时间短，大部分不能被作物吸收利用，损失严重。这样，不仅影响产量、增加成本、浪费资源，而且污染环境，成为农村面源污染的主要源头之一。因此，近些年来研发缓控释新型肥料，使肥料养分释放由快释变缓释或控释，实现养分释放与作物需求同步，提高化肥利用率，成为行业共识。

北京市农林科学院植物营养与资源研究所从 1994 年开始研发缓控释肥料。经过十多年的努力，现已成功研制出系列缓控释肥料，部分产品实现了产业化。其中匀速释放型（L 型）、延迟释放型（S 型）两种控释肥料在生产工艺、配方技术、产业化设备及在大田作物上的应用方面取得重大突破，多项技术获得国家发明专利。在缓释肥料的研发上也取得多项成果，为我国增添了新型化肥品种。

本书是由我所从事缓控释肥料研发的多名专家共同完成的，集中反映他们在缓控释肥料领域最新的研究成果。本书出版的目的：一是总结提升缓控释肥料研究成果，为我国新型肥料的开发利用提供有益的借鉴。二是供全国从事植物营养、农业、生态、资源环境等学科及专业的教学、科研与技术推广等相关人员参考。希望本书的出版对促进我国缓控释肥料的发展能有所贡献。

本书内容共分十章：第 1 章，绪论；第 2 章，匀速释放型控释肥料；第 3 章，延迟释放型控释肥料；第 4～7 章分别为保水、脲甲醛、硫包衣、有机无机复合胶结四种缓释肥料；第 8 章，缓控释肥料在栽培基质中的应用；第 9 章，控释肥料的养分释放特征；第 10 章，缓控释肥料展望。

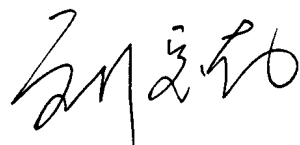
本书虽是我们多年的科研成果，也只是阶段性研究小结，缓控释肥料的科学研究仅为初始，仍有很多问题需要继续深入研究与开发，已经获得的科研成果更需要在转化中完善、进行产业化提升。综观天下，国内外同行专家有很多前辈和新人在从事此项研究，始终后浪推前浪。我们在本书所提出的一些粗浅的认识，仅供读者参考。

在本书出版之际，我们十分感谢国家科学技术部、北京市科委、北京市农委等有关部门，他们长期支持缓控释肥料的研发工作。中国原化工部冯元琦教授对本书的出版给予积极关注，提出了具体建议，原中国农业部副部长洪绂曾、原全国人大常委会委员、中国农业大学校长毛达如为本书作序，在此向他们表示衷心的感谢。还要提到的是除了在本书编辑委员会和各章节的作者外，还有参加本项目部分研究和管理的刘善江、吴玉光、刘广余、黄德明研究员，成春彦、张成军

副研究员，以及秦金生、李鸿雁、宫延刚、张宜霞、崔克生、孙景余、史树玲、吴琼、齐连生和参加过试验研究的所有学生、各区县土肥站的相关人员等，在此一并表示谢意。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。

中国植物营养与肥料学会常务理事
北京农林科学院植物营养与资源研究所所长



2009 年 10 月 26 日

第1章 绪论	1
1.1 缓控释肥料的意义和国内外现状	1
1.2 缓控释肥料的概念	4
1.2.1 稳态肥料	4
1.2.2 化学合成类肥料	5
1.2.3 包膜包衣型缓控释肥料	8
第2章 匀速释放型聚合物包膜控释肥料	11
2.1 匀速释放型(L型)高分子聚合物包膜控释肥料概念	11
2.2 匀速释放型聚合物包膜控释肥料释放机制	11
2.3 生产工艺和生产设备	13
2.3.1 生产设备研制	13
2.3.2 生产工艺流程	16
2.3.3 高分子聚合物包膜控释肥料包膜材料选择	23
2.4 可降解膜研发	28
2.4.1 树脂包膜尿素残膜对土壤性质和作物生长的影响	29
2.4.2 包膜尿素树脂膜田间土壤中降解的测定	31
2.4.3 光降解树脂膜包膜肥料	32
2.4.4 光降解树脂包膜肥料膜在自然光暴露下的降解	33
2.4.5 残膜在土壤中降解速度的估算	34
2.4.6 残膜在土壤中积累程度的估算	35
2.5 产品评价——高分子聚合物包膜控释肥料人工模拟测试	37
2.6 高聚物包膜控释肥料释放速率测试方法和评价	42
2.6.1 静态水中养分释放测定法	42
2.6.2 土壤中养分释放测定法	44
2.7 生产成本与效益分析	44
2.7.1 生产成本与效益分析	44
2.7.2 盈亏平衡分析	45

2.8	产品与应用效果	45
2.8.1	控释肥的应用特点和提高肥料利用率的途径	45
2.8.2	玉米应用效果	46
2.8.3	包膜尿素在水稻种植中增产效应及经济效益分析	51
2.8.4	控释肥在菜花上的应用	57
2.8.5	控释肥在葡萄上的应用	64
2.8.6	控释肥在大豆上的应用	67
2.8.7	控释肥料的优点	69
第3章	延迟释放型聚合物包膜控释肥料	71
3.1	概述	71
3.1.1	研发延迟释放型包膜控释肥料的意义	72
3.1.2	国内外延迟释放型包膜控释肥料的研究进展与展望	73
3.2	延迟释放型包膜控释肥料的养分释放机制与包膜材料的选择	74
3.2.1	养分释放的机制	74
3.2.2	包膜材料的选择	75
3.3	生产工艺	77
3.3.1	核心肥料颗粒的选择	77
3.3.2	设备和工艺	78
3.4	延迟释放型包膜控释肥料应用效果研究	79
3.4.1	延迟释放型包膜控释肥料施用方法	79
3.4.2	田间试验结果	82
第4章	保水缓释肥料	105
4.1	沸石包衣尿素缓释肥料	105
4.1.1	概述	105
4.1.2	沸石保肥作用机制	106
4.1.3	沸石包衣尿素生产工艺、设备	112
4.1.4	沸石复混肥(沸石包衣尿素缓释肥料)试验示范与应用效果	116
4.2	吸水树脂保水缓释肥料	118
4.2.1	概述	118
4.2.2	保水缓释肥料保水保肥机制	121
4.2.3	膨润土的保水保肥效果	123
4.2.4	不同基质的保水保肥效果	130
4.2.5	保水缓释肥料的研制	132
4.2.6	保水缓释肥料应用效果	135

第5章 脲甲醛缓释肥料与脲甲醛基质	143
5.1 脲甲醛缓释肥料	143
5.1.1 概述	143
5.1.2 脲甲醛缓释肥料的合成工艺	145
5.1.3 脲甲醛缓释肥料的造粒工艺	146
5.1.4 影响脲甲醛缓释肥料养分释放的因素	148
5.1.5 脲甲醛缓释肥料的田间应用	151
5.2 脲甲醛泡沫基质	158
5.2.1 概述	158
5.2.2 制造机制	159
5.2.3 生产工艺与设备	160
5.2.4 试验应用情况	163
第6章 硫包衣尿素	169
6.1 概述	169
6.2 机制与测定方法	170
6.2.1 硫包衣尿素肥料的养分释放机制	170
6.2.2 硫包衣尿素肥料的养分释放特点	170
6.2.3 硫包衣尿素养分释放的测定方法	171
6.2.4 硫含量的测定	173
6.3 生产工艺与设备	174
6.3.1 硫包衣尿素肥料的生产工艺	174
6.3.2 硫包衣尿素肥料的包膜设备	175
6.4 肥料的肥效试验与应用	176
6.4.1 实验室肥料养分释放培养	176
6.4.2 田间应用效果	178
第7章 有机无机复合胶结肥料	183
7.1 概述	183
7.1.1 有机无机复合材料胶结包衣缓释肥料和微水溶性包衣缓释肥料的研究现状与趋势	183
7.1.2 棒状黏结肥料	185
7.2 有机无机复合材料胶结包衣缓释肥料	187
7.2.1 养分胶结和包衣机制	187
7.2.2 养分溶出机制和特点	191
7.2.3 测试评价方法	191
7.2.4 生产工艺与设备	192

7.2.5	氮素溶出规律与肥效	193
7.3	微水溶性包衣缓释肥料	200
7.3.1	微水溶性包衣缓释肥料氮素释放机制和特点	200
7.3.2	微水溶性包衣缓释肥料制备机制	201
7.3.3	微水溶性包衣缓释肥料氮素释放测定方法	201
7.3.4	生产工艺与设备	201
7.3.5	性能测试和肥效试验	202
7.4	棒状黏结肥料	211
7.4.1	释放机制	211
7.4.2	制造工艺与设备	213
7.4.3	实验室和田间试验结果	216
第8章	缓控释肥料在育苗/栽培基质中的应用	223
8.1	概述	223
8.2	缓控释型基质的肥源选择	224
8.2.1	黄瓜育苗基质的控释肥源筛选试验	224
8.2.2	有机肥在栽培基质中施用量试验	226
8.2.3	不同用量控释肥料在基质栽培中的应用	230
8.2.4	有机肥及包膜尿素配合应用试验	233
8.2.5	大椒栽培基质专用控释氮肥筛选试验	236
8.2.6	甜瓜栽培基质专用控释氮肥筛选试验	237
8.3	养分缓释型基质的加工技术	238
8.3.1	育苗基质块的加工技术	238
8.3.2	养分缓释型穴盘育苗基质与栽培基质的加工生产技术	244
8.4	养分缓释型育苗基质应用技术	246
8.4.1	蔬菜育苗的环境条件	246
8.4.2	种子萌发与幼苗生长的基本知识	248
8.4.3	育苗基质块的应用操作	249
8.4.4	穴盘育苗基质使用方法	251
8.5	养分缓释型基质应用效果	252
8.5.1	育苗基质块在不同蔬菜育苗上的应用效果	252
8.5.2	育苗基质块对番茄幼苗、产量及品质的影响	262
8.5.3	穴盘育苗基质在不同作物上的应用实例	265
8.5.4	栽培基质的应用效果	267
第9章	控释肥料的养分释放特征	271
9.1	不同施肥时间包膜控释肥料的养分释放率的模拟	271
9.1.1	水分对缓控释肥料氮素释放的影响	273

9.1.2	温度对控释肥料氮素释放的影响	274
9.1.3	SUGIHARA 模型对 L1 氮素释放的拟合	274
9.1.4	不同施肥时期的氮素溶出速率常数 k 的估算	276
9.1.5	基于 SUGIHARA 模型预测不同施肥期 L1 释放率的验证	276
9.2	接触施肥模式下包衣控释肥料氮素在土壤中的时空变化特征	277
9.2.1	灌水量、时期与氮素溶出率变化	278
9.2.2	施肥点垂直方向硝态氮含量时空变化	279
9.2.3	施肥点垂直方向铵态氮含量时空变化	280
9.2.4	施肥点垂直方向硝/铵分析	281
9.2.5	施肥点垂直方向尿素态氮含量时空变化	282
9.3	施用 S 型控释肥料土壤硝态氮的时空分布	283
9.3.1	10 ~ 20cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	283
9.3.2	20 ~ 30cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	284
9.3.3	30 ~ 40cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	285
9.3.4	40 ~ 60cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	285
9.3.5	60 ~ 80cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	285
9.3.6	80 ~ 100cm 土层 NO_3^- -N 时空分布	286
第 10 章	缓控释肥料展望	290
10.1	缓控释肥料产品开发与产业化的研究	290
10.2	缓控释肥料的应用技术研究	291
10.3	缓控释肥料作用机制与评价研究	292
10.4	我国缓控释肥料发展前景	292
10.4.1	人口增长与粮食安全的需要	293
10.4.2	农业环境与农产品安全的需要	293
10.4.3	现代农业可持续发展的需要	294

第 1 章 绪 论

1.1 缓控释肥料的意义和国内外现状

一百多年以前,人们建立了植物矿质营养理论,在这一理论指导下,人们开始使用和生产化学肥料,自从化学肥料问世以来,提高耕地的单产,主要靠化学肥料的使用,为农业生产力的提高做出了巨大的贡献。根据联合国粮农组织的资料,1949~1998年50年中,世界化肥消费量每10年翻一番,1998年化肥总消耗量已达1.4亿吨。近50年来,世界粮食单产由 $1000\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到 $2500\text{kg}/\text{hm}^2$,施用化肥可提高粮食作物单产55%~57%,提高总产30%~31%。化肥对农业的贡献已为人所共知。

我国是一个人口众多,土地资源匮乏的农业国家,实现农作物的高产、高效符合我国国情。我国人口高居世界之首,现有人均耕地 667m^2 (1亩)以上,由于工业和城市的快速发展,正在以每年67万公顷(1000万亩)以上的速度减少,以如此有限的耕地养活众多的人口,其主要出路必然是提高农作物的单位面积产量。西欧、北美等一些发达国家多为一年一季或实行耕地的轮休等土地的耕作制度,而我国大部分地区还采用一年两熟或一年三熟。全国平均复种指数高达150%,耕地利用强度大,我国与发达国家相比,耕地潜在肥力较低,有机物的循环和再利用不高。所以,为了提高农作物的产量,在现阶段,主要还是要依靠化学肥料的施用来保证我们对粮食和农作物的需求。

我国以8.9%的世界总耕地养活占世界21.2%的人口。化学肥料在我国粮食增产上起到举足轻重的作用。建国时我国化肥用量不足1万吨,1978年达到813万吨,到2000年用量为4146万吨,化肥生产量和施用量分别占到世界的20%和30%,2004年我国生产氮约3000万吨、磷约1000万吨、钾约200万吨,2006年我国化肥产量达到5213万吨,占世界化肥生产量的37%,化肥生产量和施用量均居世界第一位。化肥的施用,极大地促进我国农业的发展。我国生产占世界总产量40%的蔬菜及瓜类、37%烟叶、36%的花生、25%的茶叶、24%的籽棉、23%的油菜籽及芝麻、21%的皮棉、13%的水果,据全国化肥试验网的试验结果,平均每千克氮素可增产小麦、玉米等主要粮食作物10kg左右,皮棉1.2kg,油菜籽6kg。作物总产中有1/3以上是施用化肥的贡献。

在农业生产中,化肥占生产成本(农业生产资料和人工成本)的25%以上,占到全部农业生产资料费用的(种子、肥料、农药、机械作业、排灌等费用)50%左右。农民每年在化肥上的支出为1400亿元。化肥的科学合理施用可以提高产量、提高农业产品的品

质、提高土壤肥力、保护环境。

但是,化肥施用不合理必然导致化肥利用率下降,既浪费资源,又污染环境。据我国专家们测算,我国当前平均当季氮肥利用率仅有 30%~35%,磷肥利用率 10%~20%,钾肥利用率 30%~50%,低于发达国家 15%~20%。农民每年由于盲目过量施肥造成的直接损失平均每公顷 650 元。全国每年直接损失 300 多亿元。

每年有约 1500 万吨氮素(约占氮肥用量的 60%)损失进入大气和水体致使土壤、空气与水体环境的污染,同时也出现农产品安全问题。北京地区 32 种蔬菜的硝酸盐含量在过去 10 年中平均增加 1~3 倍,上海、广州等大城市蔬菜中亚硝酸盐含量超标 2~8 倍。不合理的施用化肥引起土壤盐化、养分不协调、土壤生物多样性降低、作物抗逆性下降、病虫害滋生,生态环境受到严重威胁。

化肥利用率低下除了肥料施用不合理之外,传统速效性化肥自身也有不可克服的缺陷。世界各国的农业实践表明,为了得到稳定的高产,作物在整个生育期间都应得到足够的养分,特别是氮素。但是,一次施用大量的易溶性矿质养分肥料,作物不能及时吸收,会造成养分的损失,降低肥料的利用率。因此,利用不同的技术方法来提高肥料利用率,是研究如何阻止或减少养分淋失问题中的核心。

目前,在提高肥料利用率的技术手段上国内外多采用以下三种方式:一是利用分子生物学技术,选育具有营养高效型的作物品种。这一方法投入应用阶段仍需进行大量的工作和较长的时间。二是通过合理的肥料分配和改进施肥技术,调节施肥与其他农业措施的关系以提高肥料的利用率。但由于缺少必要的服务体系,使这些技术很难推广应用。三是对肥料本身进行改性,开发更有利于作物生长的新型肥料。长期的科学研究表明,肥料利用率低下,特别是氮肥中氮素不能为植物充分利用是不能稳定高产的一个重要原因。因此,研究减缓、控制肥料的溶解和释放速度已成为提高肥料利用率的有效途径之一。

所以开发和研究可调缓控释肥料,做到在作物的生育期间能缓慢地释放养分,使其养分释放时间和释放量与作物的需肥规律相合,最大限度地减少肥料损失,提高肥料利用率,是当前肥料的发展方向之一,也是世界上肥料的生产技术与施用技术紧密结合的前沿技术。

随着科学技术的进步和农业集约化程度的提高,世界肥料发展趋势是:高浓度复合化、液体化、控缓效化。这样可以节约能源,节省运输费用,减少副成分,提高肥效。世界生产和使用化肥历经三次变革:第一阶段是 20 世纪 60 年代之前,生产的化肥为单质低浓度肥料;第二阶段是 60~80 年代,发达国家发展高浓度化肥和复合肥;第三阶段是近 10 年来,发达国家开始重点研究缓控释肥料、生物肥料、有机复合化肥料、功能性肥料,成为新型肥料研究与开发的热点。

如美国生产的聚磷酸铵(16—62—0),其有效成分含量达 78%;聚磷酸钾(0—57—37),其有效成分含量为 94%;偏磷酸钾(0—60—40),其有效成分含量达 100%;德国研制三磷化氮(P_3N_5)、磷氧酰胺 $[PO(NH_2)_3]$ 和磷氮酰胺 $[P_3N_3(NH_2)_6]$ 都是超高浓度的复合肥料。

自 20 世纪 50 年代以来,国外开始发展含氮的长效肥料,如脲甲醛、脲乙醛、包硫尿

素等,进而发展了包括氮、磷在内的缓效肥料,以减少养分损失与固定,提高肥料利用率。实际上这类肥料也是一种有机-无机复合肥,只不过起缓效作用的有机物料是价格昂贵的合成产品,甲醛、乙醛、DTPA 等的价格都相当贵。

到目前为止,国内外的一些厂家和研究单位已经研制生产多种长效肥料,肥料的长效途径主要有以下几种。

(1) 大颗粒化肥料造粒:这种方法简便易行,生产成本较低,但肥料的长效效果不好,且不能控制养分释放时间。

(2) 有机合成:通过人工合成方法,制成水中溶解度小的含氮有机化合物,经水分或微生物的作用,逐步分解将氮素释放出来,如醛和尿素的缩合物、草酰胺等。这种肥料长效效果较好,但生产成本较高,养分控制释放效果较差。

(3) 在氮素化肥中添加硝化抑制剂,抑制铵态氮硝化以延长土壤颗粒对养分吸附保持的时间。

(4) 肥料包膜:以难溶于水的物质做包膜材料,将可溶性养分包在其中,达到延长养分释放时间的目的。包膜肥料的种类很多,包膜材料和包膜对象各异。

在国外,一些先进国家肥料包膜制造缓控释肥料的技术已经发展到很高的水平,如日本、美国、加拿大等,在可调控肥料的研制方面已成为技术领先的国家。它们可以通过调整包膜材料和添加剂对肥料养分释放进行控制。基本可以做到养分释放时间和释放量与作物的需肥规律相合,并且做到一次施肥,不再进行追肥,可节省大量的劳力。根据日本在水稻、玉米、蔬菜等作物的田间研究结果表明,水稻、蔬菜氮肥利用率可达 80%,其他作物也可达 70% 以上。可比普通氮肥提高利用率一倍以上,可减少用肥一半。但由于生产成本较高,过去只在一些经济效益较高和特殊作物上应用,现在由于生产技术的改进和生产量的提高,目前,已开始 in 粮食作物上大量应用,销售量和产量逐年提高。

目前,世界缓控释肥料年消费总量 80 万吨以上(不含中国),其中,美国、加拿大约 50 万吨(约占 63%),日本 16.8 万吨(约占 21%),西欧、以色列 12.3 万吨(约占 15%),其他国家约 0.9 万吨(约占 1%)。随着控制化肥用量的环境立法在世界各国越来越受重视,世界缓控释肥料消费年增长率达 5% 以上,明显高于世界普通化肥的增长率。

当前,影响缓控释肥料发展的最主要问题为价格高,以普通尿素价格为 1,则包硫尿素为 2,含氮微溶性化合物为 3~5,聚合物包膜控释肥为 4~8。由于售价高,除日本外,美国、西欧 90% 的控释肥用于草坪、苗圃等非农业市场。降低生产成本、走向大田,是缓控释肥料研制和生产的主攻方向。

国内控释肥料研究起步较晚,20 世纪 70 年代南京土壤研究所在实验室开始用磷矿粉、石蜡、树脂等对颗粒型碳铵进行包膜,并对脲甲醛、草酰胺等合成工艺进行探讨,但工作没有进行下去。1995 年郑州大学许秀成研制出钙镁磷肥包裹尿素二价金属磷酸铵钾盐包裹尿素,沈阳生态研究所陆续推出添加脲酶抑制剂的长效尿素和添加硝化抑制剂的长效碳铵。1994 年北京市农林科学院、华南农业大学、山东农业大学、湖南农业科学院,先后在国内系统开展树脂包膜尿素的研究,北京市农林科学院 1998 年率先研制出生产设备,进入树脂包膜控释肥料产业化,中国农业科学院研制出缓释肥料黏结剂,2003 年中国农业大