

# 控效肥料的研究进展

何绪生 李素霞 李旭辉 吕殿青

(陕西省农业科学院土壤肥料研究所, 杨陵 712100)

**摘要** 随着人们对常规化学肥料在土壤中损失所产生的经济损失及环境污染认识的日益加深,控效肥已成为化学肥料研究与开发的热点。本文对控效肥的概念、类型、控释材料,控释特征与机理研究、肥效及其影响因素,以及控效肥应用诸方面进行了较详细地综述,并指出了控效肥研究中的问题与未来方向。

**关键词** 控效肥 控释材料 控释机理 肥效

联合国粮农组织(FAO)统计表明,在提高作物单产中,化肥所起的作用占40%~60%<sup>[1]</sup>,我国农业部门专家认为在40%左右<sup>[2]</sup>。随着人口的增长及耕地减少,要增加粮食产量,满足人口增长的粮食需要,增加化肥投入是不可缺少的。但大量研究表明,氮肥利用率仅为40%~60%,水稻田氮肥利用率只有20%~40%;磷肥利用率为10%~20%,钾肥利用率为40%~60%。我国肥料利用率一般低于上述各水平<sup>[3]</sup>,每年所施化肥的一半左右由各种途径而损失掉<sup>[4]</sup>。因此,化肥损失是一个相当严重的问题,它不仅仅是经济的直接损失,更严重的是损失的化肥已经和继续给我们生存的环境产生不良后果,如水体污染,农产品污染及温室效应等问题<sup>[5,6]</sup>。因此,提高肥料利用率,减轻或免除肥料污染,发展可持续、高效农业是各国共同关注的问题。有关研究人员积极寻求提高肥料利用率的有效途径,而控效肥料这一高新技术则为解决上述问题提出了新的思路。

由于控效肥料(controlled availability fertilizers简称为CAFs)具有养分释放与作物吸收(需求)相同步的功能,一次施用能满足作物整个生长期不同的要求;损失(淋失、挥发、固定等)小或不损失;施用方便;重施不盐害作物;不污染环境等优点。因此,80年代以来,控效肥料成为化肥革新研究的热点。

## 1 国内外研究、应用现状

### 1.1 研究、应用状况

控效肥料研究开创于60年代中期的美国,随后,一些国家也相继开展研究。之后,美国、加拿大、英国、日本、以色列等国家有产品相继问世,且其产量呈上升趋势。当前,美国、日本居于控效肥研究前列。中国于70年代初期研究,应用以碳铵和磷酸铵镁制成的包膜粒状碳铵缓释肥,但未形成规模生产。中国再度重视、研究控效肥起于80年代末期,现国内已有3个研究所具有研制试验用控效肥的实验设备,同时,也有一些化肥厂试产硫包膜尿素肥料。但是,国内尚未有真正意义的控效肥生产厂家。产品是试验品,还未有真正的商品控效肥。我国控效肥研究水平、生产及应用规模与日、美等国差距甚大。

在控效肥应用方面,日本主要用在蔬菜,水稻,玉米等作物上;美国主要用在优质观赏植物方面,并有向其他作物发展的趋势。我国主要在水稻、甜菜、棉花等作物上有试验研究;其他国家一般用在经济价值高的作物上。随着控效肥生产成本的降低及产量的增加,控效肥在各类作物生产中的广泛应用是化学肥料发展的必然方向。

## 1.2 控效肥有关概念区分

缓释肥/控释肥(slow release fertilizers/controlled release fertilizers简称SRFs/CRFs)是控效肥料研究初期所采用的名称。缓释肥是肥料施于土壤后其肥料养分缓慢释放出来的一类肥料;控释肥是指以某种调控机制使肥料养分在作物生长季节逐渐释放出来的一类肥料。而缓效肥或长效肥则是缓释肥或控释肥的通俗译法,它并不能准确反映控释肥的真正含义。控效肥(controlled availability fertilizers,缩写为CAFs)是指通过各种机制措施预先设定肥料在作物生长季节的释放模式(释放期与释放量 rate and duration/pattern and duration),使其养分释放规律与作物养分吸收相同步,从而达到提高肥效目的的一类肥料。通过30多年的研究,人们发现缓释肥的养分释放远远慢于常规肥料,其养分释放强烈地取决于温度、水分、生物活性及干湿等因素<sup>[7]</sup>。而且,缓释肥养分释放与作物养分吸收需求不一定同步,因此,其相当数量的养分也被固定、淋失、挥发而损失。因而,人们逐渐偏向采用控释肥这一相对较新提法,其养分释放对温度、水分、生物活性、干湿循环等因素依赖较弱。控效肥则是90年代以来出现的最新提法<sup>[4]</sup>,具有养分释放与作物吸收规律相同步的功能,因此,其肥效有很大的提高<sup>[8,9]</sup>。这一功能也成为决定与衡量控效肥肥效(利用率)高低的重要指标。它也反映了控释肥研究的最新方向。

## 1.3 控效肥类型

控效肥按其控制溶解性的方式一般划分为四类:1)物理障碍因素控制的水溶性肥料,如包膜、基质复合;2)微溶的无机物质,如金属磷酸铵;3)化学或生物降解微溶有机物质,如脲醛缩合物、草酰胺、异丁烯环二脲;4)在土壤逐渐分解的较溶物质,烷基化尿素、胍基尿素(ganayl urea)<sup>[10]</sup>。但是,从工艺学家的观点来看,一个更为普遍的机制分类是更为有实际意义的,因此有人依其释放控制方式将控效肥划分为扩散型;侵蚀或化学反应型;膨胀型和渗透型<sup>[11]</sup>。虽然这一划分含盖了控释机制的众多领域(包括药物输送用途)。但是,其中一些技术尚未用于控效肥制造工艺中。从控效肥控释的营养元素种类来看,氮、磷、钾大量元素及一些微量元素已在研究控释之列<sup>[4,12]</sup>。但目前以氮、磷、钾控效肥研究为主,其中以氮控效肥尤为研究重点。

在控效肥研究,以包膜包被可溶性肥料的包膜肥料、化学或生物降解的微溶物质控效肥为主。以有机聚合物包裹尿素颗粒形成的“Osmocote”是最初研制和工业生产的控效肥料<sup>[13]</sup>;硫包膜尿素是美国田纳西管理局随后研制出来的控效肥<sup>[14]</sup>。80年代以来,新出现的包膜控效肥有Nutricote(加拿大),Meister(日本),Prokote plus, Multicote;脲醛缩合物,草酰胺为未包膜的化学或生物降解的微溶肥料<sup>[15]</sup>;而烷基化尿素为正在研究中的生物降解微溶物质类肥料<sup>[16]</sup>。由于包膜控效肥的包膜材料具有土壤结构改良剂和控制养分释放的双重功能,包膜控效肥在控效肥(尤其是氮肥)研究与应用方面上占有重要地位。

## 1.4 控效肥的控释材料

目前,已应用和正研究的控释材料可分为无机物和有机物两大类。无机物有硅、硫、石膏、磷酸盐等。有机物为一些高分子亲水聚合物,其在土壤结构改良(保水剂)和胶囊药物方面已成功运用多年<sup>[11,18~20]</sup>。高分子聚合物有天然、半合成和合成三大类数十种聚合物及共聚物,在天然聚合物中研究过的有瓜尔胶及其改性型和天然橡胶<sup>[21]</sup>。由于天然聚合物是在自然条件下生

成的,其易被生物分解,控释特性较差,因此,研究者注重半合成和合成聚合物的研究和应用。半合成聚合物是对天然聚合物进行改性或嫁接其它高分子形成的具有强大交换量的聚合物。

天然聚合物有蛋白质、多聚糖、木质素、橡胶、核酸。天然胶是多聚糖衍生的亲水碳水聚合物,由植物的分泌物、纤维素、淀粉、浸提物获得,其中对造包膜肥料有用的有纤维素、木质素、淀粉及其改性物质。

半合成聚合物是各种天然聚合物(如纤维素、几丁质或淀粉)与石化反应产品结合形成的一类聚合物。可分为非离子型及离子型(阴离子或阳离子型),均具有广泛用途。

合成聚合物是以乙烯和丙烯单体衍生物形成的聚烯烃溶胶,如聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯酰胺,聚乙烯醇,乙烯基乙酯,羟乙基丙烯酸酯,这些均属热塑性树脂。这些聚合物由于链骨架上的极性官能团的作用,使其拥有巨大的吸水容量;水化强度正比于所含官能团的数目;膨胀而不溶解的能力是由于存在着使聚合物片段粘结在一起的化学“交联”作用;物理结构变化极为缓慢等特性。

合成高聚物包膜是以乙烯或丙烯单体合成的聚烯烃及以乙烯或丙烯单体衍生物合成的聚丙烯酰胺,聚乙烯醇(聚乙烯、聚丙烯)、羟乙基丙烯酸酯、乙烯基乙酯类树脂,或以聚烯烃型树脂,EVA共聚物和聚氯乙烯为主要成份形成的树脂膜,并添加无机细粉(如滑石/硅粉和金属氧化物粉末)来调节树脂膜取决于温度的水分渗透性。包膜溶解期由调节滑石/树脂比值来控制。日本研究表明,以热固性树脂控制养分释放最有效。聚烯烃包膜尿素颗粒中氮溶解速率的 $Q_{10}=2$ ,其与植物体内的化学反应和土壤中许多微生物活性的 $Q_{10}=2$ 相匹配。由于,POCU (polyolefin-coated urea)氮的释放由树脂膜水分渗透性控制,进而也由温度控制,因此POCU可认为是控效肥。从技术角度看,POCU虽是一种缓释肥,但却与缓释肥的传统概念不同。传统缓释养分释放决定于包膜组份对诸如温度和扩散过程等物理因素的反应,而POCU的氮释放对诸如土壤pH、水分等土壤条件的变异不大敏感<sup>[22,23]</sup>。

有些聚合物在其结构内含有多种离子,可使同一聚合物具有对阴离子或阳离子或阴、阳双重离子的交换能力。电荷强度弱的阴离子如羟基酯( $-\text{CO}_2^-$ ),中等的如磷酸盐( $-\text{PO}_2\text{H}^-$ ),强的如硫酸盐( $-\text{SO}_3^-$ );电荷强度弱的阳离子如胺( $-\text{NH}_3^+$ ),强的如季胺( $-\text{NR}_3^+$ )。因此,束缚离子(潜在离子交换定位)可以是或强或弱的阴离子或阳离子,而这取决于离子化程度。阴离子或阳离子溶胶最通常是通过阴离子或阳离子单体聚合形成。然而,它们也可由改性水化聚合物(如部分水解或添加一种过量聚阴离子或聚阳离子)制备。

此外,在氮肥的控释材料还使用一些化学品,如抑制尿素分解的脲酶抑制剂,抑制硝化作用的硝化抑制剂。这些主要是操纵与氮素转化有关的微生物群体,从而达到控制氮素释放的目的。目前研究和应用较普遍的脲酶抑制剂有NBPT(N-丁基硫代磷酰三胺),PPD(邻-苯基磷酰二胺),TPTA(硫代磷酰三胺)及其衍生热聚物,CHPT(N-磷酰三胺环己胺)<sup>[24]</sup>;硝化抑制剂有Phenyl-acetylene(苯基炔),Nitrapylin(四氮草啉)等。它们主要加在尿素或其他氮肥中使用。

控效氮肥是控效肥中最大的一类,其研究与应用有着重大的经济、环境效益。

磷以水溶性磷肥与尿素(氮肥)配方形成包膜控效肥,及以磷酸铵镁这类控释肥使用。

微量元素控效肥(控效微肥)也进行了研究与评价,可溶性铜、锌显著的残效作用极大地减少了对控效铜和锌肥的需要,因此应用前景不大。而铁和锰由于会快速氧化,并且其释放过程中与土壤反应降低其有效性,因此控效铁和锰肥证明并不高效。微溶Colemanite和Ulexite及Fritted B产物是淋失强度大的土壤中硼供应的控效硼肥。钼因其需要量极少,且通过施石灰或

浸种或叶面喷施均可校正。因此,控效钼肥也几乎不需要<sup>[25]</sup>。

控效钾肥主要是氯化钾,硫酸钾的包膜形式,其降低钾的淋失和提高钾肥肥效方面作用显著。其次是可溶性钾肥与氮肥合用在一起多元包膜肥。

### 1.5 控效肥的肥效及其影响因素

脲醛肥料是研究与应用较早的控效氮肥之一。脲醛是酸催化尿素和甲醛反应形成的一种控效肥。它们是由含分子量不等的甲叉尿素聚合物组成的,这些分子量不等的甲叉尿素在水或土壤中的溶解度或降解速率各不相同。土壤中脲醛肥料氮的有效性与其冷水不溶和热磷酸缓冲液不溶的氮百分率有关<sup>[26]</sup>。脲醛冷水溶解组份为尿素和短链聚合物,该组份氮硝化速度与尿素相当;热水不溶组份为长链聚合物,一般认为该组份氮在土壤中无活性;热水溶解组份为中等链长聚合物,该组份氮在许多土壤中6个月内可缓慢硝化<sup>[27]</sup>。关于土壤pH对脲醛肥料氮释放量影响的研究中存在着相互冲突的报道。Knop报道,脲醛肥料热水不溶组份氮的释放量在pH 5.2的土壤上为pH7.2土壤上的10倍高。这些差异主要是由供试脲醛肥料组成,实验方法的差异,或由其他因素的差异造成的。利用<sup>15</sup>N同位素示踪技术对土壤pH影响脲醛肥料的冷水溶解组份、热水溶解组份和热水不溶解组份以及尿素的释放量和硝化作用进行的研究,结果表明,脲醛肥料无机氮释放量极强烈地取决于土壤pH,因pH改变冷水不溶组份氮释放量,变化可达100倍,在酸性土壤中冷水不溶组份中的氮会缓慢释放;但冷水不溶组份和大部分冷水溶解组份氮在pH>7的土壤中基本上是无活性的。因此,脲醛肥料的成功应用将要求改进施用量或脲醛肥料的组成,以适应土壤pH的差异<sup>[28]</sup>。

异丁叉二脲(isobutylidene diurea, IBDU)和草酰胺(oxamide)<sup>[29]</sup>也属于微溶有机氮肥。

硫包膜尿素(sulfur-coated urea, SCU),是美国田纳西河谷管理局(TVA)研制的控释氮肥。尿素颗粒表面喷涂熔融硫,硫膜孔洞用蜡质或低分子聚乙烯等作密封剂密封,用diatomaceous earth或蛭石作调理剂降低包膜尿素颗粒粘性并增加其表面亲水性。各个颗粒包膜厚度随颗粒表面变化而变化,一批硫包膜尿素颗粒膜厚度分布取决于生产工艺过程的条件。

尿素从土施硫包膜尿素中的释放速率随温度<sup>[30]</sup>,土壤水分含量<sup>[31]</sup>,微生物活性<sup>[32]</sup>和产品自身包膜特征<sup>[30]</sup>而变化。

烷基化尿素是最近研究的具有控释性能的一种控效肥。从结构上看,它是尿素的类似物或尿素的一类衍生物,其含氮量虽低于尿素,但却与其他无机氮肥相当。研究表明<sup>[16]</sup>,烷基化尿素延迟释放期按如下顺序递增:甲基尿素<1,3-二甲基尿素<乙基尿素<丁基尿素<1,1-甲基尿素<1,3-二乙基尿素。甲基尿素、1,3-二甲基尿素、乙基尿素氮释放与尿素基本同步;而1,1-二甲基尿素、1,3-二乙基尿素、丁基尿素的氮释放比尿素迟4~6周,在延迟释放期结束后,这些化合物的矿化与尿素几乎一样快。延迟释放期的长短随烷基群的碳原子数目及烷基基团在分子中的相对位置而变化。每种烷基化尿素的延迟释放期是一定的,且不受尿素或其他烷基化尿素的影响。这种特性可用于研究各种烷基化尿素的混合物以获得所要求的延迟氮矿化释放期,从而达到其氮的释放与特定作物对氮吸收相同步的控释目的。

包膜肥料是控释(效)肥中发展迅速且类别较大的一类肥料,如Osmocote, Prokote plus, Ceracoat, Multicote, LF-cote, Nutricote及Meister, LP。Osmocote的包膜主要是二聚环戊二烯和丙三醇酯的共聚物。Prokote plus, Multicote, Nutricote, Meister及LP的包膜主要是聚烯烃树脂的高分子物质(或称热固性树脂),其包膜十分规则且恒定,厚度可控<sup>[33]</sup>。包膜内养分的扩散释放及其温度依赖性可通过调控包膜性质加以改变<sup>[34,35]</sup>。如日本研究的树脂膜主膜以聚烯烃型

树脂, 乙烯基乙酸酯, 聚氯乙烯型树脂膜为主成份的掺合物。树脂包膜依赖于温度的水分弥透性可采取添加无机细粉末(如滑石, 硅粉及金属氧化物粉末)来调节, 而其溶解期限可通过调节滑石/树脂的比值来控制。这类肥料称为POCFs(polyolefin-coated fertilizers, 聚烯烃包膜肥料), 其内容物可以是尿素, 氯化钾, 硫酸钾, 磷酸二铵等可溶性肥料。POCFs不同于传统的缓释肥料, 表现出高度控制养分释放特性, 温度效应值为2, 且养分释放与作物养分吸收相同步<sup>[9, 36]</sup>。因此, POCFs的养分平均利用率相当高。POCU-S100在水稻田同位施肥(co-situs application, 是指将养分释放模式与植物全生长期养分需求相同步的控效肥料施在植物根系密集区的施肥法, 其可减少肥料养分与土壤的反应或相互作用, 因而可极大地提高肥效)措施下, 其总氮回收率为79%, 远远高于常规撒施尿素或硫酸铵氮22%~23%的回收率<sup>[4]</sup>。

对六种控效肥的氮淋失和植物吸收进行评价试验表明, 在减少氮淋失, 促进植物生长及增加植株组织氮含量方面, 包膜氮肥(Osmocote, Prokote plus, SCU)一般优于无包膜控释肥<sup>[37]</sup>。对国产棉花专用包膜肥的效应作的简单对比试验, 发现其对棉花生长和结铃有促进和增加作用, 但无皮棉产量结果评价。且棉花专用包膜肥未消除重施盐害和吸湿受潮结块的缺点<sup>[38]</sup>。对国产硫包膜尿素(SUN)在水稻上的应用效果的研究表明, 硫包膜尿素可减少氨挥发(19.2%)和硝态氮淋失(12%), 延迟尿素释放7.9天, 增产6%~8%; SUN比尿素的当季利用率和后季残效提高4.4%(绝对值), 但试验未对SUN的氮释放与水稻植物吸收是否同步作出评价<sup>[39]</sup>。其他如涂层尿素在甜菜上的肥效, 锌锰涂层尿素在晚稻上的肥效, 覆膜除草尿素在晚稻上的肥效等试验, 也表明包膜肥料均有一定程度增产效应<sup>[40~42]</sup>。

## 1.6 控效肥控释特征预测和释放机理研究

提高控效肥料的肥效, 除了找寻新化合物或新的更加有效的控释材料外, 还有赖于评价控效肥控释性能的各种方法的完善, 这不但包括实验室评价控效肥性能的简便测试法, 而且还应包括预测田间控释规律的模型, 更应有实验室测试法和田间控释规律的相关模型。这些是工业或实验室研究或设计控效肥的基础技术。这方面虽已有一些研究报道, 但并不系统, 也无统一的标准。

Blouin等<sup>[43]</sup>提出了一种“7天静置溶解速率”法, 是将50g硫包膜尿素没入250mm水中, 7天内每天测定尿素浓度。这一方法已成为硫包膜尿素和聚合物包膜尿素控释特性评价的常用方法。然而, 水中尿素的浓度随时间延长而增大, 这会阻滞尿素通过包膜的迁移。虽然, 这一方法可粗略地评价膜厚度变化的包膜效能。但是, 现有结果外推至另一新厚度膜时缺乏理论依据。Hassan等<sup>[45]</sup>测定尿素-橡胶基质中尿素的扩散率, 但是扩散率不足以评价膜胶囊肥料的控释特性。Lu和Lee<sup>[44]</sup>及Tojo等采用数学方法预测水和土壤中胶囊肥料的释放速率, 但其需要多个参数, 且难于测定。Zhang Mingchu等<sup>[46]</sup>利用一种水分可以流动的简单装置定量测定包膜控效肥的渗透率, 其测定的两种膜厚的包膜控效氮肥的尿素渗透率有差异, 而且随温度增高其差异(8.8和14.7 $\mu$ m)趋于增大, 这一方法有待于完善。

应用电超滤(electroultrafiltration, EUF)技术评价了缓释氮肥<sup>[47]</sup>, 其结果表明, EUF-N(I)值(30min, 200v, 20 $^{\circ}$ C, 15mA)与评价氮肥的淋失量显著相关, 说明EUF-N(I)能提供控释氮肥氮素淋失动态的信息。EUF-N(I+II)与草皮吸氮量呈极显著相关, 说明草皮氮吸收量决定于快释放和慢释放两组份(I+II), 因此, 在控效氮肥中这两组份应保持一定的平衡。EUF-N(I+II)可能是控效氮肥对植物有效性的有用指标。控效氮肥的移动性(吸收+淋失)与EUF-N(I)值呈极显著相关, 说明控效氮肥的移动性主要决定于EUF-N(I)值, 这是肥料的可溶

性组份。这方面的工作值得进一步研究。

对POCU-70在田间释放规律进行了同位素示踪技术研究<sup>[9]</sup>,发现POCU-70在10~30℃间释放累积氮量与时间(天数)的关系可用一元二次方程描述。同时,释放累积氮量可用土壤温度或气温积温作自变量的一元二次方程来预测。而玉米吸收的POCU-70肥料氮符合典型的“S”形曲线<sup>[97]</sup>。由于POCU-70氮的释放可以用模型模拟,所以,玉米的氮吸收可用总释放氮量预测。

关于土壤中硫包膜尿素包膜侵蚀机理已提出几种解释。Lunt(1968)指出土壤颗粒吸附密封蜡,这样可形成释放尿素的开孔通道。Meelellan和Scheib(1975)则认为可能是聚合硫、无定形硫逐渐转化为结晶态硫过程中导致硫壳层出现裂缝,从而使尿素释放出来。而最流行的看法认为是微生物消化包膜物质,最终使尿素接触水分而使尿素释放出来。为了准确预测包膜尿素有效性,定量描述影响尿素释放的因素是十分必要的。Jarrell等<sup>[14]</sup>经过试验研究,将硫包膜尿素颗粒分为三类:①膜上有畅开孔洞的颗粒;②硫膜上有孔洞,但却有密封剂封闭的颗粒;③硫膜无穿孔颗粒。第一类颗粒一湿润就开始释放尿素,第二类颗粒一旦密封剂破坏或剥去,尿素就从颗粒内释放来;第三类颗粒一旦硫膜部分剥蚀,尿素就从内部释放出来。并且,他们根据前人研究资料和自己的实验,提出了预测硫包膜尿素养分释放速率与微生物活性和尿素扩散及其影响这二者的其他因素间的数学模型,通过比较预测释放速率和实验结果检验了模型,模型预测值与实验结果相符合,模型计算值准确响应于温度、土壤水分含量及包膜厚度与膜成份。

Kochba等<sup>[48]</sup>提出了包膜控效肥养分释放是水蒸气通过疏水膜向肥料颗粒内的扩散,及随后包膜的爆裂或膨胀,这两方面又促进包膜颗粒内饱和溶液外流的机理。对包膜硝酸钾肥料控释速率的单个颗粒和群体动态的研究认为,由于包膜颗粒群体中,单各个颗粒的养分释放各不相同,其初始释放养分的颗粒控释速率显著不同于群体大部分颗粒控释速率,但群体颗粒的控释速率基本服从一级速率方程<sup>[49]</sup>。表明单个肥料颗粒在不同时期可供给植株根系养分,但为了保持养分供应平衡则需要植株根区有足够量的颗粒群体,这依包膜肥料颗粒大小而定。

### 1.7 控效肥应用的其他方面

控效肥应用的其他方面研究主要是降低施肥作业成本,重施对作物无盐害作用及改进施用方式等方面。

由于控效肥一次大量施用就可满足作物整个生育期的养分需要。因此,它可减少施肥作业次数和节约劳力,从而可降低施肥作业成本。Kaneta等<sup>[5]</sup>指出,与习惯水稻栽培作业成本相比,免耕移植水稻一次基施控效肥的栽培可降低成本65%。此外,控效肥还可减少养分的淋失、挥发、固定及反硝化损失,提高肥料利用效率,从而提高肥料的经济效益。Okumrua<sup>[4]</sup>研究表明,与传统肥料相比,POCU-NK的施用降低菜园硝酸盐淋失损失的72%;Minami<sup>[50]</sup>的工作表明,在施氮的相等条件下,70天内硫酸铵的氧化氮(N)释放总量为361克·公顷<sup>-1</sup>;而POCU-NPK-100在试验全过程中氧化氮(N)释放量为73克·公顷<sup>-1</sup>。其他如Mikkelson<sup>[52]</sup>,Oertili等<sup>[54]</sup>对控效肥减少养分损失或及其带来的经济效益也都进行过评价。

控效肥具有控释特性,重施不会使作物受盐分危害或盐烧伤。研究表明,大量(很高量)POCFs(polyolefin-coated fertilizers)施在种子或秧苗处不会造成盐分伤害种子或秧苗<sup>[51]</sup>。

控效肥的施用还可改变作物施肥方式。由于控效肥的应用,日本已出现水稻施肥方式的改变,如免耕直播水稻一次基施肥法和水稻秧苗一次基施肥法。由于控效肥可以施在根密集区或种子区而不烧伤作物根系或种子。因此,将这种肥料与种子同窝或靠近根系的施肥方法称为同

位施肥法。Sate<sup>[62]</sup>曾提出用一次基施控效肥法生产水稻秧苗的思路,基施肥在整个生育期可满足作物养分需要。他还提到施在水稻育秧盒内的POCFs肥料随着移栽可转至水稻田中。

日本研制生产出适用于不同作物或轮作制的POCFs肥料,并形成了各种施肥方法如:莴苣和大白菜双作一次基施POCFs法;玉米免耕一次同位基施POCFs法;大豆基施POCFs和表施氮肥法;Photinia树双季POCFs施肥法;草莓温室栽培一次基施POCFs法;温室岩棉栽培草莓、西红柿和黄瓜施用POCFs法。

## 2 存在问题及未来方向

尽管控效肥料研究已取得一定的进展,但是仍然存在着许多问题,因此还需要对这些问题开展进一步深入细致系统的研究。

2.1 虽然,目前已有控释肥的生产与应用,但是由于包膜控释材料或控效制作工艺复杂,致使控效肥价格一般高于常规肥料2~3倍,使得绝大部分控效肥只用于经济价值高的花卉、蔬菜、草莓、草皮等生产中。为降低控效肥成本,促进其应用,尚需进一步研制和开发新型、高效廉价控释材料及控释机制。高分子聚合物和肥料养分的相互作用的精确性尚需进一步研究,通过与聚合物化学家的合作研究,通过改进聚合物结构或对聚合物化学属性进行改性,调控聚合物的富持离子,生物降解速率及盐逆效应等性质以达所希望的养分释放速率及释放量,最佳适应特定作物的养分需要。此外,控释材料的次要益处,如高分子亲水聚合物的持蓄水份及改善土壤物理性状方面的问题尚需再系统定量评价。

2.2 控效肥肥效评价过于简单,严格的同位素示踪技术评价十分稀少。肥效评价仅限于简单的对比试验,对控效肥在田间的去向缺少系统定量评价,尤其是在不同农业生态条件下,控效肥在各种作物上的肥效也缺乏系统严格的定量评价。此外,关于控效肥应用而减少养分损失所带来的经济和环境效益缺乏定量评价,控效肥使用在保持土壤生产力方面的作用也急待研究。因此,有必要进一步系统、严格地评价控效肥田间应用肥效及控效肥在土壤中的去向,为控效肥在各种农业生态条件下最佳满足不同作物营养需求,改进控效肥设计,提供科学依据。

2.3 植物营养和肥料研究表明,某些作物对氮素形态有不同的需要;不同化学形态氮在土壤中移动损失差异很大;各种养分间存在着颀颀作用和协同效应;硝化抑制剂,脲酶抑制剂能够延缓氮的形态转化。但是关于控效肥在利用养分间协同效应及调控氮素化学形态方面研究利用尚不多见。因此,控效肥在诱导各种养分间互促效应,调控氮素化学形态方面的工作应该加强,使植物接触到其所需的养分化学组成或形态。另一方面,由于土壤类型的差异,作物营养比例要求不同,因此应该进一步研究适于不同作物的控效肥的肥料配方,也就是专用控效肥应予以研究。

2.4 关于控效肥控制释放速率和模式及影响它们的环境因素(如温度、水分、微生物、酸碱性、土壤类型等)的研究已有一些报道,但随着新型控效肥或新控释材料的研究开发,这方面工作仍需进行系统的研究。同时,由于控制释放速率和模式必须与作物吸收养分速率和模式相匹配。因此,作物营养吸收特性也需要再研究。

2.5 控效肥控释性能的测试方法也有一些报道,但很零散,而且各种测试方法因采用的介质、仪器不同,预测控效肥控释性能的准确度大不相同,缺乏统一测试标准。此外,实验室测定参数与田间控效肥控释期限和效果缺乏相关研究。因而建立测试控效肥控释性能的标准测试方法,改进工业质量控制和农户决策过程势在必行,而电超滤法是一个具有应用前景的方法。

2.6 硫包膜尿素和POCU在田间条件下养分释放的机理数学模型已有报道,但这方面工作非常欠缺。实验室和田间条件下控效肥养分释放的机理数学模型是技术人员设计控效肥的依据,因此,构建实验室和田间条件下预测控效肥养分释放的机理数学模型也是急待深入研究的问题。

2.7 我国有关控效肥研究除了存在上述六方面题外。我国对控效肥研究,开发和生产尚未予以足够的重视,控效肥基础和开发研究都缺乏国家和部级的有效资助。控效肥现有研究、开发有关部门和单位间缺少必要的协调与合作。因此,应加大控效肥的研究、开发力度,以促使控效肥早日实现产业化。

## 参 考 文 献

- 1 张毓钟. 农牧情报研究. 1987,(9):3~14.
- 2 曾宪坤. 中国化肥工业的现状与展望. 土壤学报,1995,32(2):117~125.
- 3 张道勇. 氮肥的利用率及其损失问题(一). 土壤通报,1981,(3):45~48.
- 4 Shoji S, Kanno H. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emission. *Fert. Res.*, 1994,(3):147~152.
- 5 Spalding RF, Exer ME. Occurrence of nitrate in groundwater-A review. *J. Environ. Qual.*, 1993,22:392~402.
- 6 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望. 土壤学报,1995,32(增刊):62~69.
- 7 Allen SE. Slow-release nitrogen fertilizers. In:Hauck RD(ed.) Nitrogen in crop production. Madison, WI 1984,195~206.
- 8 Kaneta Y, Awasaki H and Murai T. The nontillage rice culture by single application of fertilizer in a nursery box with controlled-release fertilizer. *Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 1994,65:385~391.
- 9 Gandeza AT, Shoji S and Yamada I. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea I. Field dissolution. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 1991,55:1462~1467.
- 10 Hauck RD. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilizers. In:Engelstad OP(ed), Fertilizer technology and use. Third ed. SSSA, Madison, WI, 1985,293~322.
- 11 Fan LT, Singh SK. Controlled release—A quantitative treatment. Springer-verlag, Berlin, 1990.
- 12 Mikkelsen RL. Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fert. Res.*, 1994,38(1):53~59.
- 13 Powell R. Controlled release fertilizers. Noyes Development Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1968.
- 14 Jerrell WM, Boersam L. Model for the release of urea by granules of SCU applied to soil. 1979,43:1044~1050.
- 15 Stajer PV et al. Review of methods for production of slow-release nitrogen fertilizers. *J. Chem. Prum. Prum.*, 1986,36(11):577~588.
- 16 Praveen-Kumar, Brumme R. Alkylated ureas: mineralization and evaluation as N sources. *Fert. Res.*, 1995, 41:117~124.
- 17 Chatzoudis GK et al. Monitoring the combined action of controlled release fertilizer and a soil conditioner in soil. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 1995,26(17~18):3099~3111.
- 18 Terry RE, Nelson RD. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties. *Soil Sci.*, 1986,141:317~320.
- 19 Ratner BD, Hoffman AS. Synthetic hydrogels for biomedical applications. In: Andrade JD(ed), Hydrogels for medical and related applications. Am. Chem. Soc., Washington DC, 1976, 1~36.
- 20 巫东堂,王久志. 土壤结构改良剂及其应用. 土壤通报,1990,21(3):140~143.
- 21 Hepburn C, Arizal R. Slow-release fertilizers based on natural rubber. *Br. Polym. J.* 1988,20(6):487~495.
- 22 Fujita T et al. Coated granular fertilizer capable of controlling the effects of temperature on dissolution rate. U.S. Patent 4369055. Date issued: 1983,18 January.
- 23 Radel RJ et al. Soil urease inhibition by thermal polymers of thiophosphoryl triamide and phosphoryl triamide. *Fert. Res.*, 1994,39:153~160.
- 24 Phongpan S et al. Use of phenylphosphorodiamidate and N(n-butyl) thiophosphoric triamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to folded rice. *Fert. Res.*, 1995,41:59~66.
- 25 Mortvedt JJ. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. *Fert. Res.*, 1994,38:213~221.
- 26 Horwitz W(ed.). Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. 10th ed. Assoc. Offic. Agric. Chemists, Washington DC, 1965.
- 27 Kraievce RD, Morgan WA. Condensation products of urea and formaldehyde as fertilizer with controlled nitrogen availability.



- J. Agric. Food chem., 1954, 2:92~95.
- 28 Tlustos P, Blackmer AM. Release of nitrogen from ureaform fractions as influenced by soil pH. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56:1807~1810.
- 29 Noboili M De et al. Fate of nitrogen ( $^{15}\text{N}$ ) from oxamide and urea applied to turfgrass: alysimeter study. Fert. Res., 1992, 33:71~79.
- 30 Allen SE et al. Nitrogen release from surfur-coated urea, as affected by coating weight, placement and temperature. Agron. J. 1971, 63:529~533.
- 31 Prasad M. The release of nitrogen from SCU as affected by soil moisture, coating weight, and method of placement. Soil Sci. Soc. Am. J., 1976, 40:134~136.
- 32 Oerli JJ. Effects of temperature, microbial activity, salinity, and pH on the release of nitrogen of SCU. zeit pflanzen Boden, 1973, 134:227~136.
- 33 Oerli JJ. Controlled release fertilizers. Fert. Res., 1980, 1:103~236.
- 34 Fujii T, Yazawa F. Development of coated fertilizers (ceracoat). In: Proceedings of the symposium on fertilizer. Present and future. September 25~26. Jap. Soc. Soil. Sci. plant nutr., 1989, 101~108.
- 35 Fujita T et al. Research and development of coated fertilizer. In: Proceedings of the symposium of fertilizer. present and future. 1989, 78~100.
- 36 Shoji S et al. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: Nitrogen uptake by corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55:1468~1473.
- 37 Mikkelsen RL et al. Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers. Fert. Res., 1994, 37:43~50.
- 38 全云飞等. 棉花专用包膜肥应用试验初报. 江苏农业科学, 1996, 2:42~43.
- 39 王家玉等. 高效覆膜尿素农化特性鉴定及利用研究. 浙江农业学报, 1996, 8(1), 24~27.
- 40 赵翔等. 甜菜应用高涂层尿素和尿素增效剂试验初报. 中国糖料, 1996, 2:32~34.
- 41 王梅芳. 锌锰涂层尿素在小麦上的施用效果. 河北农业科学, 1996(6), 24.
- 42 皇甫伟国等. 覆膜除草尿素在晚稻上的应用效果试验. 浙江农业科学, 1996, 3:110~112.
- 43 Blouin M et al. Sulfur-coated fertilizers from controlled release: pilot plant production. J. Agric. Food chem., 1971, 19:801~809.
- 44 Hassan ZA et al. An evaluation of urea rubber matrices as slow-release fertilizers. Fert. Res., 1990, 22:63~70.
- 45 Lu SM, Lee SF. Slow release of urea thorough latex film. J. controlled Release, 1992, 18:171~180.
- 46 Zhang Ming Chu et al. Determining permeability of coatings of polymercoated urea. Fert. Res., 1994, 38:47~51.
- 47 Vallejo A et al. Nitrogen availability of soluble and slow release nitrogen fertilizers as assessed by electroultrafiltration. Fert. Res., 1993, 23:121~126.
- 48 Kochba M et al. Studies on slow release fertilizers I. Effect of temperature, soil moisture and water vapor pressure. Soil Sci., 1990, 149 6:339~343.
- 49 Kochba M et al. Solw release rate: Individual granules and population behaviour. Fert. Res., 1994, 39:39~42.
- 50 Minami K. Emission of biogenic gas compounds from soil ecosystem and their effects on global environment: A review. Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr., 1991, 62:445~450(In Japanese).
- 51 Kanno H, Shoji S and Ito T. Response of dent corn to cositus application using controlled availability fertilizers. Bull. Exp. Farm, Tohoku Univ. 1993, 9:23~29(In Japanese).
- 52 Sato T. Placement of polyolefin coated fertilizers with delayed release properties to rice seedling boxes. In application for a patent, 1993.

# THE PROGRESS OF STUDIES ON CONTROLLED AVAILABILITY FERTILIZERS

He Xiusheng Li Suxia Li Xuhui Lu Dianqing

*(Soil and Fertilizer Institute of Shaanxi Province, Shaanxi, Yangling 712100)*

**Abstract** In pace with deepening with our know on the economic loss and environmental pollution caused by the loss of the conventional chemical fertilizers in soils, controlled availability fertilizers (CAFs) have become as the hotpoint in the research and development of chemical fertilizers. A detail review was given on the concept, type, controlled-release materials, controlled-release behaviour and mechanism of CAFs, CAFs' efficiency and factors affecting it, as well as other aspects of the use of CAFs. It is pointed out that the problems in the research of CAFs and the future direction to CAFs.

**Key words** Controlled availability fertilizers Controlled-release material  
Controlled-release mechanism Fertilizers efficiency.