

包膜控释尿素保肥供肥效果及其机理的研究

廖松, 樊小林*, 贺训平

(华南农业大学 资源环境学院肥料与平衡施肥研究室, 广东 广州 510642)

[摘要] 采用电导法和好气培养连续取样法探讨包膜控释尿素保肥供肥效果及其机理, 探讨评价包膜控释供肥速度的方法。结果表明, 在恒温条件下培养 42 d, 包膜型控释尿素在土壤中确有控制养分释放、延长供氮时间的作用, 与对照相比供氮时间可延长 30 d 以上。即将尿素包膜制成控释肥料, 可以明显抑制尿素的水解, 从而起到保肥的效果。试验结束时, 土壤残留肥料中的含氮量为肥料含氮总量的 21%。结果还证明, 用电导法和土壤培养法得到的控释尿素的供氮曲线具有一致的变化规律, 故可以用电导法简单、快速测定控释肥料的供氮速度, 评价包膜控释肥的肥效。

[关键词] 包膜型控释尿素; 供氮量; 保肥供肥效果; 电导法

[中图分类号] S145.5; S147.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)06-013-05

随着人口的增长及耕地的减少, 增加化肥投入提高单产是满足人口不断增长所需粮食的有效措施之一, 是社会安定、经济增长的基础和保障^[1]。据报道^[2~4], 肥料在提高粮食作物单产中所起的作用占 50% 左右, 对粮食总产增加的贡献占 1/3, 我国粮食增长的 2/3 以上仍将依赖于化肥投入和单产的提高。然而几十年来肥料报酬率锐减^[5], 其主要原因是肥料的利用率低^[2, 6, 7]。我国化肥的当季利用率 N 为 30% ~ 35%, P 为 10% ~ 20%, K 为 35% ~ 50%^[7], 其中 N 的损失特别严重, 部分地区由于施肥不当还引起环境污染、农产品污染及温室效应等环境问题^[8]。因此, 如何有效地提高氮肥利用率, 对我国农业生产、经济增长及社会发展均具有极其重大的意义。

为了减少氮素的损失, 提高氮肥利用率, 世界各国均在大力发展长效氮肥, 其中对控释肥尤为重视。目前的控释肥料有包膜肥料、超颗粒肥料和高分子微溶性肥料等几种^[9]。美国、日本、荷兰、英国等国发展比较早, 而我国控释肥的发展较晚, 由于目前的控释肥仍然存在成本高、生产工艺复杂和控释效果难于和作物同步等问题, 因此至今这些控释肥仍然未在国内得到广泛利用。然而要明显提高氮肥利用率就应研制廉价控释肥, 并大面积推广应用^[10]。根据

这一思想方针笔者制作了包膜型控释尿素, 并对其保氮供氮效果和机理以及其快速测定方法进行了探讨, 以期为进一步研究高效、价廉的包膜控释尿素提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试肥料为尿素包膜控释肥(简称包膜控释尿素, CRFCU 16-8-8)和水溶性复合肥(芬兰 Superstar 20-10-10)。包膜控释尿素的结构由核心尿素、增效层和长效层组成(图 1)。

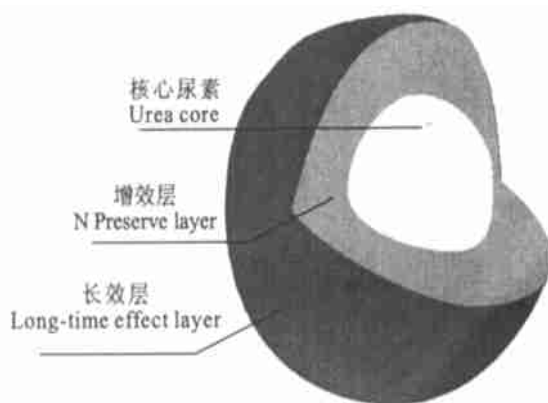


图 1 尿素复式包膜控释肥料结构

Fig 1 Structure of controlled release of coated urea

[收稿日期] 2001-06-27

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(39870433); 广东省自然科学基金资助项目(98036); 教委骨干教师计划项目(2000-65-34); 广东省科技攻关项目(2KB05601N)

[作者简介] 廖松(1976-), 女, 贵州贵阳人, 硕士, 现在澳大利亚就读, 主要从事肥料与施肥研究。

* 通讯联系人: 樊小林(1958-), 男, 陕西三原人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事植物营养与肥料的研究
(Email: xlfan@scau.edu.cn)

培养介质为土壤和河砂。供试土壤采自陕西杨陵黄土母质发育的塿土耕层。土壤风干后过 3 mm 筛备用。供试土壤的基本理化性状如下: pH 为 7.9 (水土比 5:1), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 15.50 mg/kg, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 37.00 mg/kg, 全 N 为 0.817 g/kg, 有机质碳为 13.89 g/kg。河砂粒径 > 1 mm, 试验前将河砂用 0.1 mol/L HCl 溶液洗涤, 再用自来水冲洗至 pH 值为 6~7 后晾干备用。

1.2 试验方法

控释肥料供肥速度的测定分别采用电导法和土培模拟法。电导法操作方法如下: 分别称取 2 g 包膜控释尿素和等氮量水溶性复合肥各 4 份, 即 4 个重复。然后将肥料放入预先盛有 200 mL 蒸馏水的密封瓶(瓶盖钻直径 3 cm 的孔用于放电导仪探头)中, 不搅拌让其自然溶解, 在室温下静置 15 d。肥料放入水中 2 min 后开始测定电导率($\mu\text{m}/\text{cm}$)。2 min 间隔的测定 7 次, 5 min 间隔的测定 3 次, 10 min 间隔的测定 2 次, 40 min 间隔的测定 2 次, 60 min 间隔的测定 1 次, 12 h 间隔的测定 1 次, 24 h 间隔的测定 4 次, 48 h 间隔的测定 5 次。每次测定结束时用透明胶带将瓶盖口密封, 以免水分蒸发。

室内模拟培养试验设 包膜控释尿素(简称 CRFU); 水溶性复合肥(芬兰 Superstar 20-10-10); 尿素; 无肥对照(CK) 4 个处理。每个处理设置 3 次重复。处理、和 的氮磷钾量相等, 每培养管总氮量为 0.672 g, 氮 磷 钾 = 2:1:1。

研究采用氮素矿化好气培养连续取样法测定控释尿素的供氮速度, 以水溶性复合肥和尿素为对照。培养方法如下: 在直径为 6 cm、长 10 cm (直桶管) 的锥底硝化管中装入洗过的备用河砂至管底锥形处, 然后按 1.25 g/mL 的容重装土至硝化管高度 5 cm 处, 按土壤田间持水量的 60% 先加入 Holagland 无

氮含碳营养液, 待无明水时将肥料均匀铺在土层上, 然后加入上层的土壤, 再按要求加入无氮含碳营养液, 然后加覆 1 cm 洗过的河砂(称量并标记各管的总重量)。每管装土 300 g。管口用半透膜封闭(膜上留 12 个透气孔)待培养。将上述处理好的培养管在 25℃ 的恒温条件下培养 42 d。分别于培养后 6, 12, 18, 24, 36, 42 d 取出 3 个培养管, 纵向分割培养管取出土柱, 仔细分离其中残留的肥料(试验结果表明只有控释肥有残留)用于分析肥料中残留的氮量。试验共有 54 个培养管。

包膜控释尿素中增效层的保肥性能用一次平衡法, 分别测定了 3 种增效材料对铵态氮的等温吸附曲线。操作过程如下: 称取过 0.25 mm 筛的样品 7×3 份(7 个处理浓度, 3 个重复)。每份准确称取 1.000 0 g, 置于 100 mL 带盖震荡瓶。分别加入 10^{-4} , 10^{-3} , 5×10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 5×10^{-1} , 1 mol 的 NH_4Cl 溶液 20 mL。在 25℃ 下, 恒温震荡 24 h, 离心分离样品与溶液。上清液用于测定吸附后的剩余氮量, 并用差减法计算铵的吸附量。

用自动分析仪(德国产 Autoanalyser AA 3)测定肥料和溶液中的铵态氮、硝态氮。

2 结果与分析

2.1 CRFU 与 Superstar 的溶解速率与肥效

包膜控释尿素和水溶性复合肥在水中的电导率随时间的变化曲线(图 2)表明, 两种供试肥料的电导率随时间的变化均可划分为两个阶段。所不同的是, 水溶性复合肥的电导率在拐点以后, 曲线几近于与横坐标平行的直线, 即拐点处肥料基本上完全溶解(图 2(a))。而控释肥在拐点后, 曲线仍随时间延长而渐增, 说明尿素包膜控释肥在前期溶出了一部分, 而另一部分则在后期缓慢释放(图 2(b))。

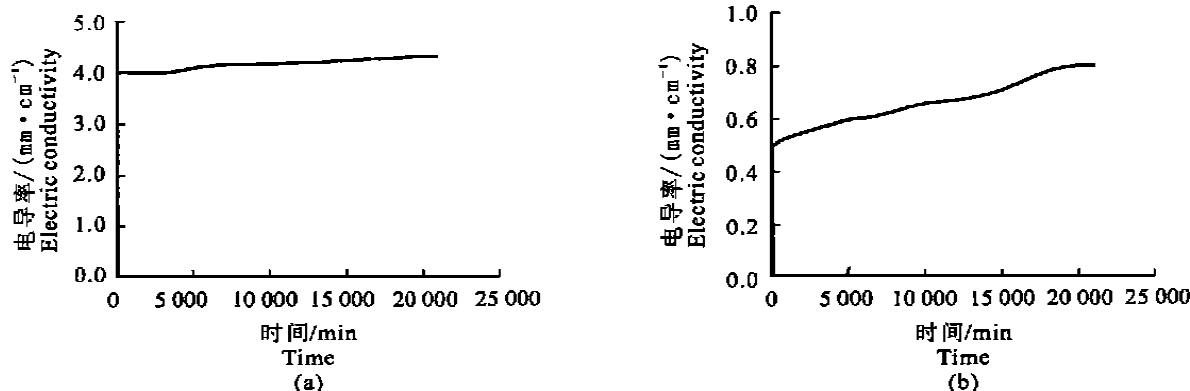


图 2 控释肥与复合肥在水中电导率时间变化曲线

(a) 水溶性复合肥; (b) 控释尿素

Fig. 2 Change of electric conductivity of fertilizer solution with time

(a) Water soluble fertilizer; (b) Controlled release urea

如果以试验结束时的电导率为最大值分别观测 70%, 80% 和 90% 时的时间(表 1), 就可明显地判断两种复合肥水溶液电导率达最大值的 50%, 60%, 出两种复合肥的缓肥性能和肥效。

表 1 肥料水溶液电导率达最大值一定量时所需的时间

Talbe 1 Time for EC of fertilizer solution (FS) to a certain ratio of maximum EC			m in
电导率达最大值的倍数 EC ratio of FS compared to Max EC	所需时间 Time consumed		
	水溶性复合肥 W S compound	控释肥 CRF	
0.5	3	18	
0.6	5	48	
0.7	7	2 358	
0.8	10	9 558	
0.9	23	15 500	

注: 表中数据为 4 个重复的平均值。EC 表示电导率;W S 表示水溶性。
Note: The figures in the table was the average of the 4 duplicates EC means electric conductivity,W S menas water soluble

表 1 结果表明, 水溶性肥料在水中放置 23 m in 后, 约 90% 的肥料被溶解, 而在同样时间内, 控释肥仅有一半多肥料被溶解。如果控释肥也要达到 90% 的溶解量, 那么大致需要 11 d 时间。肥料溶解的越快, 其保肥效果越差, 那么肥料的损失就越多。故此尿素包膜后可以明显地抑制肥料溶解, 从而起到缓效保肥的效果。

2.2 土壤培养试验中肥料的保肥效果

土壤培养模拟试验中肥料保肥性能用各采样时段土壤中残留肥料中的氮素含量来评价, 残留肥料中的氮越多, 说明肥料保肥效果越好, 即肥料的缓释效果好。结果表明, 在培养后第一周取样时, 土壤中

已经完全没有水溶性复合肥和尿素颗粒, 即无法测定其残留氮量。这是因为水溶性复合肥中的氮磷钾全为水溶性养分, 氮为 NH_4^+ 和 NO_3^- ; 尿素的氮为水溶性酰胺态氮, 且肥料的外表无控效保效膜。故此水溶性复合肥和尿素本身无控释长效作用。

尿素经过复式包膜制成包膜控释肥后, 在整个试验过程土壤中都有残留的肥料颗粒, 这是因为包膜控释尿素表面包裹了一层增效层(或保效层), 该层外又包裹了一层长效层(图 1)。如此以来, 包膜型控释尿素就能减缓尿素的快速溶解, 起到保效控效的作用。

表 2 不同培养时间包膜控释尿素残余的氮量

Table 2 Remained N in controlled release urea during incubation								g/kg
重复 Duplicates	培养时间/d Incubation time							
	6	12	18	24	30	36	42	
I	6.14	5.67	5.67	5.20	4.99	4.79	3.75	
II	5.91	5.71	5.46	4.78	4.72	4.05	3.21	
III	5.91	5.67	5.57	4.76	4.50	4.50	3.27	
平均 Average	5.99 a	5.68 b	5.57 b	4.91 c	4.74 cd	4.45 d	3.41 e	

注: 表中的小写字母不同, 代表差异达 5% 显著水平(Duncan 法)。
Note: Different letters in the same line indicate significant difference at 5% level (Duncan's test).

表 2 可以看出, 控释肥从培养的第 6 天到第 42 天的 7 次采样中, 土壤残留的肥料中均有氮素养分。肥料中的含氮量第一次采样时约为 6%, 45 d 后还有 3.4%, 而且土壤残留肥料中的含氮量随时间的推移逐渐降低, 表明在这一期间肥料中的养分逐步释放。

由图 3 可以看出, 该包膜控释尿素的养分供应可明显划分为两个阶段, 第一阶段是培养后的第一周, 该阶段的特点是供肥速度快, 这一期间包膜控释

尿素氮养分释放量占总养分的 61%, 可称其为快速供应阶段。第二个阶段从第 6 天起到第 42 天, 这一阶段为缓慢供肥阶段, 本阶段结束时的供氮量占总氮量的 78.69%。第二阶段的净供氮量占养分总量的 17%, 明显小于第一阶段。由图 3 还可看出, 即使在培养结束时, 肥料中的氮素(占总氮量的 21.31%)仍在缓慢释放。说明将尿素制成包膜型控释肥料后可以显著延长其供肥时间, 从而提高尿素的肥效。

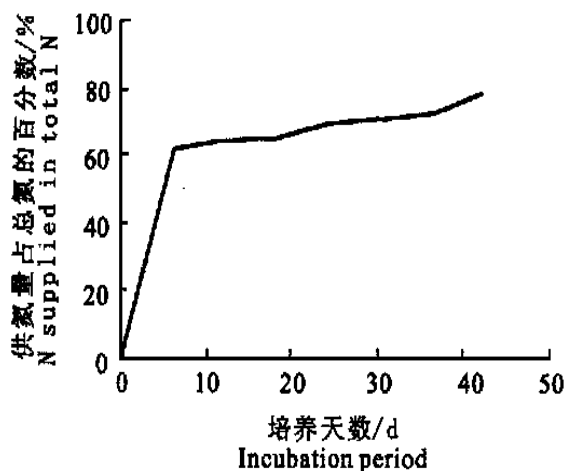


图 3 包膜控释尿素供氮曲线

Fig. 3 N supplying curve of coated urea

3 讨论

3.1 保氮效果和机理

研制包膜控释尿素的目的是为了减缓尿素中氮素的溶出率,从而减少肥料氮的损失;其次是为了实现一次施入作物一生所需肥料,从而简化施肥技术和节约用肥劳力。3种增效材料保肥性能的测定结果见图4。

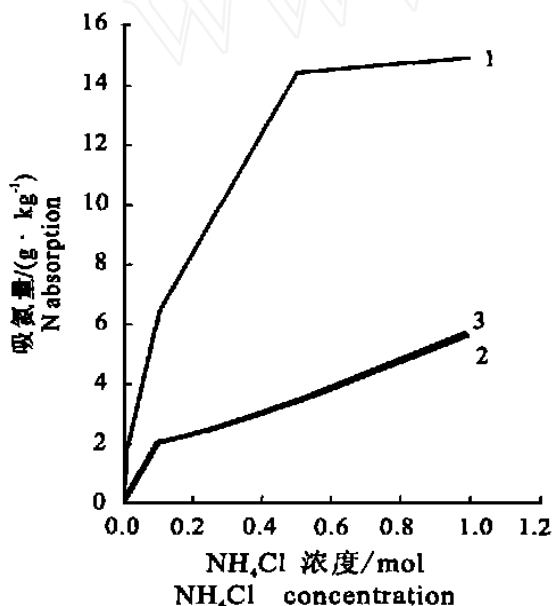


图 4 增效层包膜材料的保肥性能

1. 增效材料 1; 2. 增效材料 2; 3. 增效材料 3

Fig. 4 N preserving capacity of coating materials

1. Coating matter 1; 2. Coating matter 2; 3. Coating matter 3

从图4可以看出,将尿素包上一层增效层,然后再包上一层长效层制成包裹型控释尿素后确有延缓尿素溶解的作用。其作用机理是包膜控释尿素内层增效层的主要原料为具有极强保肥性能的物质^[10-12]。外层长效层的主要作用是增强包膜尿素的抗压强度,以确保包裹了增效层的尿素在土壤中保留较长的时间。由表2和图3结果可见,包膜控释尿素在土壤中残留的养分在第42天时还占总养分的21%,可以肯定包膜控释尿素的确具有缓溶、长效、保氮的特点。

3.2 包膜材料及其筛选

研究结果还表明,相比之下,包膜控释尿素在第一阶段的氮素释放太快,占总氮量的61%,即增效层包膜材料的选择还有待于深入研究,以减小第一阶段的供肥量。只有减少了第一阶段的供肥量,才能更有效地提高氮肥利用率。

增效层包膜材料应具有更大的保肥性能,长效层应具有一定的疏水性。在包膜选材过程还应注意材料的广普和成本。此外还应注意从包膜技术方面进行改进,比如包膜粘结剂的选择和造粒技术的改进等。

3.3 供氮速度的快速测定方法评价

比较图2和图3可见,两者有相似的变化规律,所不同的是前者用电导率法测定肥料在水溶液中的电导,而后者是在土壤培养模拟试验中实测的供氮量。前者测定简便快速,后者费事耗时。然而有趣的是两者的变化趋势几乎完全一致。由此可见,可以利用电导率法快速准确地评价控释肥的供肥特性和供肥速度,但两者的定量关系有待于进一步研究。

4 结论

1) 将尿素制成包膜控释肥可以明显控制氮素养分释放,减缓养分供应速度,延长肥料供氮时间。在恒温恒湿条件下培养42d后,肥料中仍保留总氮量21%的氮素。

2) 电导率和土壤培养模拟试验结果均表明,控释尿素的供肥可划分为快速和慢速两个阶段。用两种方法测得的供肥曲线有一致性,故可用电导率法快速测定和评价控释肥的供氮速度。

[参考文献]

- [1] 水茂兴 我国农业可持续发展与肥料科技[A]. 中国农学会 植物保护与植物营养研究进展[C]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 471- 476
- [2] 林葆, 李家康, 金继运 中国肥料的跨世纪展望[A]. 中国农学会 植物保护与植物营养研究进展[C]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 453- 457.
- [3] 张世贤 中国土地资源保护与平衡施肥技术对策[A]. 中国农业科学院土壤肥料研究所 施肥与环境学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994. 1- 10.
- [4] 黄景梁 中国化肥现状与发展[J]. 化肥工业, 1994, (1): 3- 9.
- [5] 曹志洪, 俞金洲, 魏正仓, 等 复混肥与推荐施肥[J]. 化肥工业, 1996, 23(1): 12- 14.
- [6] 林葆 中国肥料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994.
- [7] 李庆远, 朱兆良, 于天仁 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.
- [8] 朱建国 硝态氮污染危害与研究展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 62- 69.
- [9] Martin E T. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture[M]. Paris: Published by The International Fertilizer Industry Association, 1997.
- [10] 樊小林, 廖宗文 控释肥料与提高肥料利用率方法与技术的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219- 223.
- [11] 樊小林, 黄彩龙, 张锦鹏 保效控效系列复合肥及保效控效施肥技术——建立智能复合肥系统推进平衡施肥原理与技术产业化[A]. 中国土壤学会 氮素循环与农业和环境学术研讨会论文集[C]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001. 44- 45.
- [12] Fan X L, Liao S, Huang C L. Controlled release fertilizer for clean and efficient and sustainable agro-production in China[A]. In: China Association of Agricultural Science Society. Research progress in plant protection and plant nutrition[C]. Beijing: China Agricultural Press, 1999. 366- 375.

Study on efficiency and mechanism of N supply and preservation of controlled release coated urea

L IAO Song, FAN Xiao-lin^{*}, HE Xun-ping

(College of Natural Resources and Environmental Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: Ventilating incubation method was used to investigate the efficiency and mechanism of N supply and its efficiency of controlled release coated urea (CRFCU) by successive collection of fertilizer samples after a period of incubation and analyzing EC of CRFCU as well as mineral nitrogen of soil extracts. The results indicated that the period of nitrogen release of the coated urea was 30 days longer than that of CK under the constant temperature (25 °C) during 42 days incubation. It revealed that converting normal urea into coated compounds (coated urea) could reduce hydrolysis of urea and then keep more N in the soil. The result also showed that the remaining nitrogen fertilizer in soil was about 21% of total nitrogen at the end of the incubation. The curve of nitrogen supply was similar to those of incubation method and EC method. As a result, it was possible to use EC method to evaluate N supply of the coated urea simply and rapidly instead of time consumption incubation method.

Key words: coated urea; quantity of nitrogen supply; N preservation and supply; EC method