

不同土壤环境因素对复合改性矿物包膜尿素 氮素释放的影响

毋永龙^{1,2}, 杜建军², 王益权¹, 田吉林³, 诸海焘³

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 仲恺农业技术学院 植物营养与新型肥料研究室,
广东 广州 510225; 3 上海市农业科学院 环境科学研究所, 上海 201106)

[摘 要] 在室内模拟 4 种不同的土壤环境因素(含水量、温度、质地、微生物), 研究其对 3 种复合改性矿物包膜尿素(M、L、H)氮素释放的影响。结果表明, 土壤质地和土壤含水量为田间持水量的 35 % ~ 100 % 时, 对 3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素释放无显著性差异, 说明土壤质地和水分条件不是影响复合改性矿物包膜尿素氮素释放的主要因素。但土壤温度和土壤微生物对 3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素释放影响显著, 培养温度由 25 ℃ 升高到 35 ℃, 其氮素累积释放率分别增加 27.65 %, 10.16 % 和 20.32 %; 与不灭菌处理相比, 土壤灭菌时其氮素累积释放率分别降低 43.28 %, 45.16 % 和 28.27 %。说明在适合的水分和温度条件下, 土壤中的微生物种类及其活性对复合改性矿物包膜尿素的氮素释放具有很大的影响。

[关键词] 复合改性矿物包膜尿素; 土壤条件; 氮素释放

[中图分类号] S143.1⁺5; X501

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)06-0179-06

Effect of different soil environmental factors on N release rate of compound modified mineral coated urea

WU Yong-long^{1,2}, DU Jian-jun², WANG Yi-quan¹, TIAN Ji-lin³, ZHU Hai-tao³

(1 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Lab of Plant Nutrition and New Fertilizer, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China;
3 Environmental Science Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai, 201106, China)

Abstract: A simulated experiment with four different soil environmental factors (water content, temperature, texture and microorganism) was carried out to study the effect of those factors on N release of three compound-modified-mineral-coated urea (CMMCU, M, L and H). The results indicated that the effects of soil texture and 35 % - 100 % soil water content of field moisture capacity on N release of CMMCUs were not significant, which showed that soil water condition and soil texture were not the main factors influencing on N release of CMMCUs. However, soil temperature and soil microorganism had significant influence on N release of the fertilizer. Under same soil water content, N released rate increased by 27.65 %, 10.16 % and 20.32 % with soil temperature increasing from 25 ℃ to 35 ℃, respectively. N released rate in sterilized soil was decreased by 43.28 %, 45.16 % and 28.27 % compared with that in CK, respectively. Therefore, soil microorganism and its activity obviously influenced N release of CMMCUs under suitable

[收稿日期] 2006-04-27

[基金项目] 国家“863”计划项目(2001AA246023); 上海市科技兴农重点攻关项目(农科攻字(2002)第 4-3-5 号)

[作者简介] 毋永龙(1978 -), 男, 陕西扶风人, 硕士, 主要从事植物营养调控、新型肥料研究。E-mail: wuyulong@tom.com

[通讯作者] 杜建军(1966 -), 男, 陕西商州人, 副教授, 博士, 主要从事植物营养调控、新型肥料和保水剂研究。
E-mail: dujj@tom.com

soil water and temperature conditions.

Key words : compound-modified-mineral-coated urea ;soil environmental factors ;N release

我国是农业大国,化肥在农业生产中所起的作用越来越大。由于肥料性质不同及土壤环境条件的差异,肥料利用率低是化肥使用中普遍存在的问题。控/缓释肥料作为一种新型肥料,其最大特点是养分释放尽量与作物吸收同步,简化了施肥技术,实现了一次性施肥满足作物整个生长期的需要,肥料损失少,利用率高,不污染环境,使农产品品质得到提高^[1],被认为是 21 世纪化学肥料的发展方向^[2]。因此,近年来,控/缓释肥料已经成为国内外研究的热点^[3-4]。

目前,控释肥料以包膜控/缓释肥料为主。根据包膜材料的不同,又可分为有机高聚物包膜肥料和无机材料包膜肥料。国内外的研究工作主要集中在新型控/缓释肥料包膜材料的开发和使用效果方面,而对控/缓释肥料施入土壤后,不同土壤环境因素对其养分释放的影响研究相对较少,现有的研究主要集中在温度影响方面,这一状况影响了对控/缓释肥料控/缓释性能和肥效的评价^[5]。为此,本研

究主要从降低包膜肥料的成本出发,以复合改性矿物包膜材料制成的复合改性矿物包膜尿素(Compound modified mineral coated urea (CMMCU)作为研究对象,利用土壤培养试验,通过测定包膜内残留的氮素含量,研究不同土壤含水量、温度、质地和微生物等土壤环境因素对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响,以期这类肥料的性能改善和合理使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试肥料 供试肥料为 3 种自制的复合改性矿物包膜尿素 M、L、H,它们的基本特性见表 1。

1.1.2 供试土壤 供试土壤采自广州番禺仲恺农业技术学院钟村农场,土壤为旱地赤红壤, pH 5.25,有机质 33.8 g/kg,有效氮、磷、钾分别为 116.05, 5.56 和 59.55 mg/kg。

表 1 3 种复合改性矿物包膜尿素的基本性质

Table 1 Properties of three CMMCUs

肥料类型 Type of CMMCU	全 N 含量/ (g · kg ⁻¹) Total N content	氮素初级溶出率/ % N preliminary dissolution rate	氮素 7 d 溶出率/ % N dissolution rate after 7 days	氮素微分溶出率/ % N differential dissolution rate
M	237.0	6.66	45.04	6.40
L	249.2	3.62	51.92	8.05
H	221.1	7.69	51.46	7.29

注:初级溶出率/ % = (24 h 养分溶出量/ 肥料中的养分总量) × 100 %^[6];微分溶出率/ % = [(7 d 养分溶出量/ 肥料中的养分总量) × 100 % - 初级溶出率]/ 6^[6]。

Note:Preliminary dissolution rate/ % = (24 h nutrient dissolution amount / total nutrient amount in fertilizer) × 100 %;differential dissolution rate/ % = [(7 d nutrient dissolution amount / total nutrient amount in fertilizer) × 100 % - preliminary dissolution rate]/ 6.

1.2 方法

不同土壤环境条件对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响试验包括 4 个小试验。

1.2.1 土壤含水量对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响 将过 2 mm 筛的风干土壤 200 g,加蒸馏水分别调成相当于田间持水量(田间持水量为 210 g/kg)的 35 %, 70 %和 100 %,即土壤含水量分别为 73.5, 147.0 和 210 g/kg,然后分别加入相当于 200 mg 氮的复合改性矿物包膜尿素样品 M、L、H,充分混匀,装入封口袋,于 25 °C 条件下培养。每处理重复 3 次。在培养的 5, 10, 15, 20, 25 d, ..., 将袋中土壤倒出,立即挑出包膜肥料颗粒,研磨,用水溶解残留的复合改性矿物包膜尿素并定容,分析残留

肥料氮素含量。当包膜肥料中的氮素有 80 %溶出时结束培养。包膜肥料氮素含量测定用硫酸消煮,开氏蒸馏法测定肥料中的全 N 含量^[7],计算包膜尿素氮素累积释放率:

氮素累积释放率/ % = (1 - 培养一定时间肥料总 N 量/ 培养开始时肥料总 N 量) × 100 %。

1.2.2 土壤温度对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响 将加入相当于 200 mg 氮的复合改性矿物包膜尿素样品的土壤,在土壤含水量为 147.0 g/kg、35 °C 条件下培养,其他操作同 1.2.1,以 25 °C 为对照。

1.2.3 土壤质地对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响 在 200 g 土壤 + 砂子的混合物(砂子粒

径为 0.2 ~ 1 mm,加入量为混合物质量分数的 10 %)中,加入相当于 200 mg 氮的复合改性矿物包膜尿素样品,将其置于土壤含水量为 147.0 g/kg、25 条件下培养,其他操作同 1.2.1,以不加砂子的土壤为对照。

1.2.4 土壤微生物对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响 将土壤灭菌(用体积分数为 2 %的甲醛溶液调节土壤含水量),在土壤含水量为 147.0 g/kg、25 条件下培养,其他操作同 1.2.1,以不灭菌处理(用同体积蒸馏水调节土壤含水量为 147.0 g/kg)为对照。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

土壤水分是肥料中养分溶解的溶剂和养分扩散

的介质。土壤水分含量影响养分离子扩散的曲折程度、有效截面积以及土壤中所发生的物理、化学过程^[8]。由图 1 可见,虽然当土壤含水量分别在 73.5, 147.0,210 g/kg 时,3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素累积释放率在有些培养时间随土壤含水量增加而有所增加,但总体比较,土壤含水量对 3 种复合改性矿物包膜尿素氮素累积释放率的影响不显著。以氮素累积释放率差异较大的第 10 天为例,包膜尿素 M 在土壤含水量为 73.5,147.0 和 210 g/kg 时的氮素累积释放率分别为 44.13 %,47.51 %和 54.28 %;L、H 在 3 种土壤含水量条件下的氮素累积释放率分别为 59.93 %,68.39 %,68.96 %和 52.02 %,56.54 %,58.80 %。在其他培养时间,3 种土壤含水量下 3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素累积释放率差异变小或没有差异。

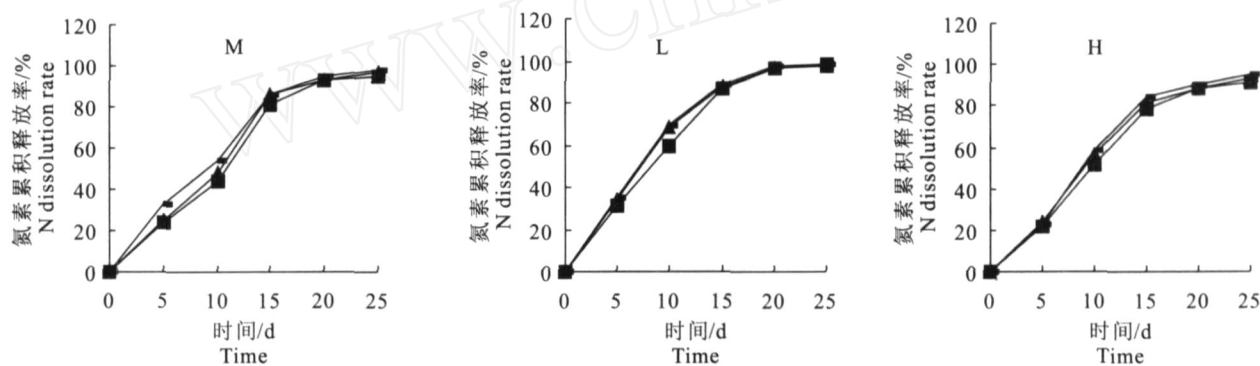


图 1 土壤含水量对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响
—■— 73.5 g/kg; —▲— 147.0 g/kg; - + - 210 g/kg

Fig. 1 Effects of different soil water contents on N dissolution rate of CMMCU s
—■— 73.5 g/kg; —▲— 147.0 g/kg; - + - 210 g/kg

2.2 土壤温度对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

温度是影响有机高聚物包膜肥料养分释放速率的主要因素之一。图 2 结果表明,土壤温度对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响显著。以培养 10 d 为例,包膜尿素 M 在 35 时氮素累积释放率为 75.16 %,而在 25 时氮素累积释放率仅为 47.51 %;包膜尿素 L 在 35 时氮素累积释放率为 78.55 %,而 25 时氮素累积释放率仅为 68.39 %;包膜尿素 H 在 35 时氮素累积释放率为 76.86 %,而在 25 时氮素累积释放率仅为 56.54 %。培养温度由 25 升高到 35,3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素累积释放率分别增加 27.65 %,10.16 %和 20.32 %。比较而言,包膜尿素 M 受温度影响更大,H、

L 受温度影响较小。
2.3 土壤质地对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

杜建军等^[9]曾用“土柱淋溶法”研究几种控/缓释肥料在土壤、砂子、土壤 + 砂子和土壤 + 沸石等 4 种不同介质中的养分释放特性,结果表明,由于介质性质不同,造成土壤对养分离子或分子吸持和介质中水分运动不同,因而同一肥料在不同介质中的淋出率和淋出模式有很大不同。静态培养条件下,土壤中加入砂子,土壤质地发生改变,影响到土壤的通气情况,进而影响到土壤的物理、化学和生物学性质。

从图 3 可以看出,加砂子处理并未对 3 种复合改性矿物包膜尿素的氮素释放产生显著影响。以氮

素累积释放率差异较大的第 10 天为例,3 种复合改性矿物包膜尿素 M、L、H 在不加沙子土壤中的氮素累积释放率分别为 47.51 %,68.39 %,56.54 %,而

土壤 + 砂子处理的氮素累积释放率分别为 57.51 %,53.43 %,59.93 %。

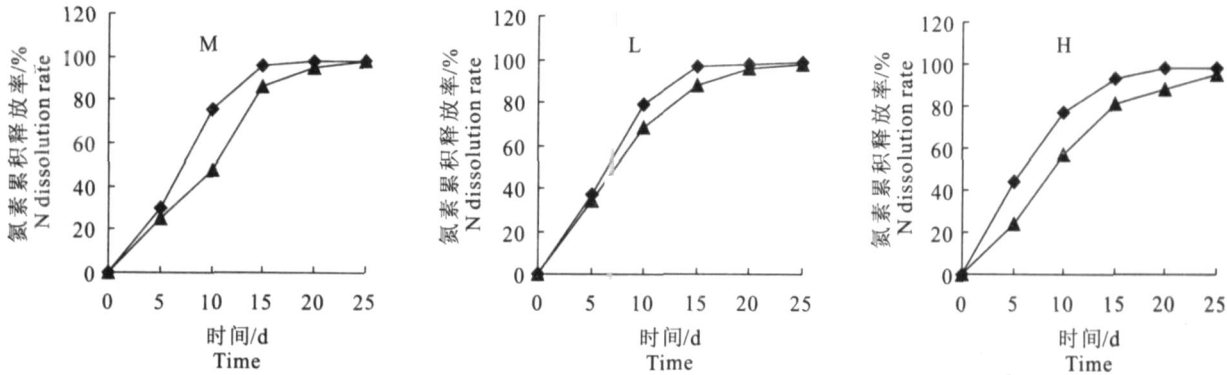


图 2 土壤温度对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

Fig. 2 Effects of different temperatures on N dissolution rate of CMMCU

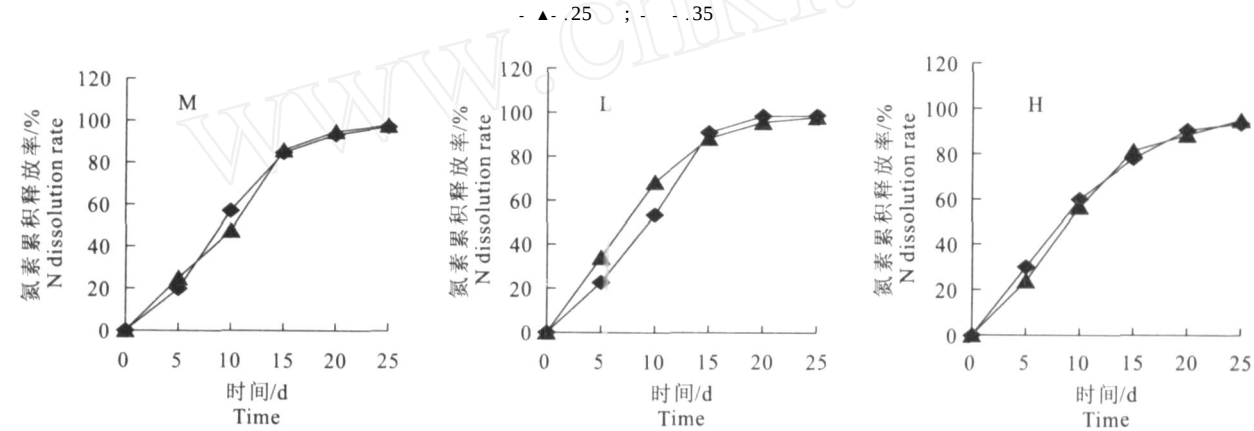


图 3 土壤质地对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

Fig. 3 Effect of different soil texture on N dissolution rate of CMMCU

2.4 土壤微生物对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

Hauke^[10]曾把包膜肥料养分释放描述为两个阶段:第一阶段,水蒸汽分子通过膜的扩散过程及其在肥料颗粒内部形成饱和溶液;第二阶段,在包膜肥料颗粒内部形成压力,并导致膜的破裂或破膜溶液的外流。按照这一养分释放机制,包膜上的微孔是养分释放的通道。包膜肥料施入土壤后,土壤中的物理、化学、生物学过程影响到包膜的稳定性,包膜上的微孔不断扩大,甚或包膜破裂,最终导致养分全部释放。所以,包膜肥料养分释放离不开微生物的作用。

从图 4 可以看出,土壤灭菌处理后,复合改性矿

物包膜尿素的氮素累积释放率显著降低。以培养 15 d 为例,包膜尿素 M 在土壤不灭菌时氮素累积释放率为 85.89 %,而灭菌时氮素累积释放率仅为 39.61 %;包膜尿素 L 在土壤不灭菌时氮素累积释放率为 88.15 %,而灭菌时氮素累积释放率仅为 42.99 %;包膜尿素 H 在土壤不灭菌时氮素累积释放率为 81.37 %,而灭菌时氮素累积释放率仅为 52.59 %。与不灭菌处理相比,土壤灭菌时 3 种复合改性矿物包膜尿素的累积氮素释放率分别降低 43.28 %,45.16 %和 28.27 %。说明在适合的土壤水分和温度条件下,土壤中的微生物种类及其活性对复合改性矿物包膜尿素的氮素释放具有很大影响。

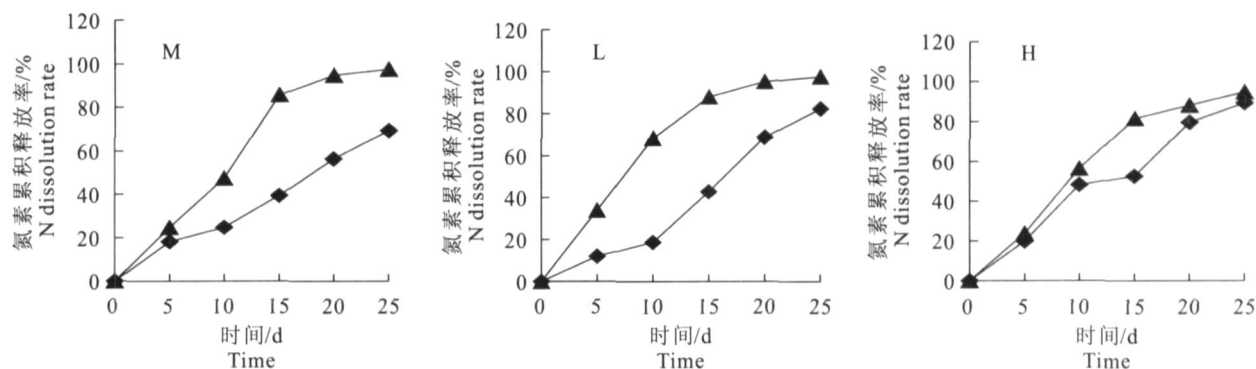


图 4 土壤微生物对复合改性矿物包膜尿素氮素释放的影响

- ▲ - 不灭菌; - ○ - 灭菌

Fig. 4 Effect of soil microorganism on N dissolution rate of CMMCUs

- ▲ - CK; - ○ - Sterilized

3 讨 论

包膜控/缓释肥料施入土壤后养分释放速率的大小,不仅与其特性,如控/缓释材料的性质、包膜厚度、肥料制造工艺等内因有关,而且还与土壤环境条件,如温度^[11-14]、含水量^[13-16]、质地^[17-18]、微生物活性^[11,19]、pH^[11,15]等因素有关。其中土壤温度的影响最为强烈,而其他影响因素因包膜材料和试验条件不同有的表现明显,有的则影响甚微。本研究结果表明,复合改性矿物包膜尿素的氮素释放主要受土壤温度、土壤微生物活性的影响,而土壤质地和土壤水分在田间持水量 35%~100%时,对复合改性矿物包膜尿素的氮素释放无显著影响。

温度对聚合物包膜肥料养分溶出率的影响主要有 3 个方面的原因:一是影响包膜材料的性质。对有机包膜材料,温度升高,膜材料结构发生变化,微孔增大,扩散阻力减少;对复合改性矿物包膜材料,虽然受温度影响较有机包膜材料小,但由于膜材料中的胶粘剂成分也受温度影响。二是影响溶解和扩散作用。如尿素的溶解速度随温度呈指数增加,穿透膜的尿素浓度梯度越高,扩散速率也随之增加^[17]。三是土壤温度的增加可显著提高土壤微生物的活性,使包膜降解加速^[19]。研究表明,聚合物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^[20]。

研究表明^[11,19],土壤微生物对包膜肥料养分释放的影响与包膜可降解能力有关。土壤微生物活性的增加对包膜层不可降解的聚合物包膜肥料(PCF)养分释放几乎没有影响,但可以加快硫包膜尿素

(SCU)养分释放的速率。主要原因是,适宜于降解 PCF 高聚物包膜材料和密封剂材料的微生物繁殖较慢,而单质硫能在相对较短的时间内被自养和异氧微生物降解。复合改性矿物包膜尿素氮素释放受微生物活性影响较大,主要原因在于包膜材料中胶粘剂成分易受微生物分解,从而影响包膜的稳定性。

对土壤水分而言,一般认为,只有在土壤含水量低于田间持水量的 25%~30%时,PCF 的养分释放才会受土壤水分影响而显著降低;而土壤含水量高于田间持水量的 25%~30%时,PCF 养分释放几乎不受土壤水分影响。而关于土壤含水量对无机材料包膜肥料养分释放的影响研究结果很不一致。本研究结果表明,土壤含水量在田间持水量的 35%~100%时,复合改性矿物包膜尿素氮素释放受土壤含水量影响较小。

有关土壤质地对包膜控/缓释肥料养分释放的影响研究报道不多。熊又升^[17]研究表明,土壤质地对包膜控/缓释肥料的养分释放无显著影响。本研究表明,复合改性矿物包膜尿素氮素释放同样不受土壤质地影响。说明土壤质地的变化,对土壤的物理、化学和生物学性质的影响还不足以影响到包膜肥料养分的释放。

复合改性矿物包膜尿素的包膜材料主要是经过改性的比表面较大的多孔性粘土矿物,由于使用了胶粘剂,因此包膜中既有无机成分,又有有机成分,所以养分释放特性不同于高聚物包膜肥料和纯无机材料包膜肥料。无机矿物材料廉价易得,稍加改性即可作为包膜材料,圆盘造粒机、常温、常压条件下即可实现造粒,因此肥料制造成本大大降低,有利于控/缓释肥料在大田推广。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 许秀成,李葭萍,王好斌.包裹型缓释/控制释放肥料专题报告.第一报 概念区分及评判标准[J].磷肥与复肥,2000,15(3):1-6.
- [3] 何绪生,李素霞,李旭辉,等.控释肥料的研究进展[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):97-106.
- [4] 武惠杰,周健民.我国缓释、控释肥料发展现状、趋势及对策[J].中国农业科技导报,2001,3(1):73-76.
- [5] 杜建军,廖宗文,宋波,等.包膜控释肥养分释放特性评价方法的研究进展[J].植物营养与肥料学报,2002,8(1):16-21.
- [6] 山添文雄,越野正义,藤井国博,等.肥料分析方法详解(修订版)[M].韩辰极,付玉振,陈国绥,等译.北京:化学工业出版社,1983:483-486.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:408-412.
- [8] 张海军,武志杰,梁文举,等.包膜肥料养分控释机理研究进展[J].应用生态学报,2003,14(12):2337-2341.
- [9] 杜建军,廖宗文,毛小云,等.控/缓释肥在不同介质中的氮素释放特性及其肥效评价[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):165-169.
- [10] Hauke R D. Synthetic slow-release fertilizers and fertilizer amendments[C]. Goring C A I, Hamaker J W. Organic chemicals in the soil environment. New York: Marcel Dekker Publ, 1972:635-672.
- [11] Oertli J J, Lunt O R. controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes. Factors in fluencing the rate of release[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1962, 26:579-583.
- [12] 郑圣先,肖剑,易国英,等.控释肥料养分释放动力学及其机理研究.第1报 温度对包膜型控释肥料养分释放的影响[J].磷肥与复肥,2002,17(4):14-17.
- [13] Lunt O R, Oertli J J. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: II. Efficiency of recovery, influence of soil moisture, mode of application, and other consideration related to use [J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1962, 26:584-587.
- [14] Kochba M S, Avnimelech Y. Studies on slow release fertilizers I. Effects of temperature, soil moisture and water vapor pressure[J]. Soil Sci, 1990, 149(6):339-343.
- [15] 曹志洪,孙秀廷,蒋佩弦,等.长效碳酸氢铵的研究[J].土壤学报,1980,17(2):132-144.
- [16] 郑圣先,肖剑,易国英.控释肥料养分释放动力学及其机理研究.第3报 土壤水分对包膜型控释肥料养分释放的影响[J].磷肥与复肥,2002,17(6):9-12.
- [17] 熊又升.土壤中包膜肥料氮磷释放运移及作物吸收利用[D].湖北武汉:华中农业大学,2001.
- [18] 施卫省,唐辉,王亚明.不同土壤对包膜尿素养分释放速率的影响[J].农业系统科学与综合研究,2005,21(3):201-203.
- [19] Allen S E, Hunt C M, Terman G L. Nitrogen release from sulfur coated urea, as affected by coating weight, placement and temperature[J]. Agron J, 1971, 63:529-533.
- [20] Fujita T. Coated granula fertilizer capable of controlling the effect of temperature on dissolution out rate: U. S. Patent, 4369055[P]. 1983-01-18.