

复合控释材料的控释性能、肥效及其成膜特性研究*

孙克君 卢其明 毛小云 廖宗文[†]

(华南农业大学资源环境学院新肥料资源研究室, 广州 510640)

摘要 膨润土和木素制成复合控释材料用于包膜控释肥。电镜扫描研究表明, 复合材料包膜厚度明显比单用膨润土处理薄, 且膜孔隙量少, 粒间堆积较紧密。土柱淋溶试验表明, 膨润土及其复合材料包膜尿素 50 d 的氮素累积溶出率远低于普通尿素, 三种包膜尿素处理分别比普通尿素降低 8.61%、14.01%、15.22 个百分点。两种复合材料包膜处理氮素累积溶出量分别比单用膨润土包膜处理降低 11.31%、13.83%。盆栽、大田小区试验表明, 复合材料包膜尿素可明显提高作物产量及氮肥利用率。膨润土与木素复合用作控释材料在研制适合我国国情的农用控释肥方面是可行的。

关键词 复合控释材料; 氮肥利用率; 肥效; 电镜; 成膜特性

中图分类号 S145.6 文献标识码 A

控释材料是控释肥料生产的重要基础, 开发高效低成本的控释材料是控释肥料研制的关键技术^[1,2]。我国近年来, 在这方面开展研究取得了一些成果, 沸石、膨润土等用作控释材料获得成功^{[2~4](1)}, 造纸木素作控释材料也获得了成功^[5]。存在的问题是这些控释材料虽然廉价、易得, 但是其控释性能尚不理想。如何提高其控释性能, 则成为一个重要的技术课题。膨润土具有良好的吸附性能、保湿性、阳离子交换量大等特性。木素具有多种活性基团、有较大的反应活性及成膜生化控释功能, 但其成膜稳定性差。因此, 膨润土和木素两者按一定的比例复合处理可能获得更好效果。基于这一设想, 本研究把膨润土及其复合材料用作控释材料制备包膜控释肥, 研究控释肥料包膜层结构、在土壤中的溶出特性及其肥料利用率, 进而探讨控释材料提高肥料利用的机理, 为开发高效低成本的新型控释材料及在农业生产中推广控释肥料提供科技依据。

1 材料与方法

1.1 包膜控释肥研制

1.1.1 供试材料 包膜材料: 膨润土(PT), 广东

南海产; 膨润土与木质素磺酸钠复合材料(PL), 膨润土与木质素磺酸钠及碱木素三者复合材料(PLH), 华南农业大学新肥料资源研究室研制; 原料尿素, 含氮 460 g kg⁻¹, 山西运城产。设备: 开放式旋转型包衣机。

1.1.2 研究方法 在匀速转动的包衣机中加颗粒尿素, 撒施一部分包裹材料粉末, 转动片刻, 喷淋一部分有机粘结剂, 使颗粒尿素表面形成一层粘液, 从而形成一层紧密的包裹层。再加另一部分有机粘结剂以浸润包膜层, 撒施另一部分包裹粉末, 继续转动, 直到粘结剂完全浸润包裹层, 外表出现油亮光泽为止, 重复上述过程 2 或 3 次, 得到包膜控释肥成品膨润土包膜尿素 PTU、膨润土与木素复合材料包膜尿素 PLU、PLHU。整个工艺过程中保持颗粒充分运动, 以防颗粒间粘结。

1.2 包膜控释肥包膜层结构特征测定

1.2.1 供试材料 控释肥膨润土包膜尿素 PTU, 膨润土和木素复合材料包膜尿素 PLU、PLHU, 含氮 296 g kg⁻¹、296 g kg⁻¹、296 g kg⁻¹, 华南农业大学新肥料资源研究室研制。

1.2.2 研究方法 对包膜控释肥进行剖面处理, 将样品外膜敲破, 快速水洗, 风干, 制得电镜扫描样

* 国家 863 计划“环境友好型肥料研制与产业化”项目(2001AA 246023)、广东省百项工程控释专用肥项目(2KB05601N)和广州市重点科技攻关“控释肥的技术研究与开发”项目(2001Z02402)资助

[†] 通讯作者, E-mail: zwliao@sohu.com

作者简介: 孙克君(1978~), 男, 山东蒙阴人, 硕士研究生, 从事新肥料资源、固体废弃物农用资源化研究。E-mail: skj1978@163.com, 电话: 020-85280302

(1) 冯新. 新型控释材料的研制及养分控释机理研究. 华南农业大学硕士学位论文, 2003

收稿日期: 2004-02-13; 收到修改稿日期: 2004-06-30

品。电镜扫描采用华南农业大学测试中心的 PHILIPS XL 30 ESEM 电镜仪, 在真空 IB5. 0 离子镀膜仪上喷金, 测定条件: Acc. V20 kV, Spot4. 0。在不同放大倍数下进行观察和拍照。

1.3 包膜控释肥土中溶出特性的测定

1.3.1 供试材料 肥料: 尿素同 1. 1. 1; 控释肥料同 1. 2. 1。土壤: 采自于广州市五山花岗岩发育的旱地赤红壤, 土壤 pH 5. 25 (质量比水: 土= 5: 1), 有机质 33. 8 g kg⁻¹, 全量 N、P、K 分别为 0. 18 g kg⁻¹、0. 24 g kg⁻¹ 和 2. 03 g kg⁻¹, 有效 N、P、K 分别为 116. 05 mg kg⁻¹、2. 43 mg kg⁻¹ 和 49. 63 mg kg⁻¹。

1.3.2 研究方法 参照 Paramasivam 等方法^[6]。在预先用 200 目滤布封底口, 并在滤布上垫有少量砂子(25 g)的塑料管(直径 5 cm, 高 30 cm)中模拟耕层按 1. 3 g cm⁻³容重先装入 250 g(约 10 cm 高)土壤(风干、过 2 mm 筛), 再在其上按同样紧实度装入 250 g 土肥混合物(N, 600 mg kg⁻¹), 土柱上面再以少量砂子(25 g)覆盖以防加水时扰乱土层。以不加肥料的土柱作为对照, 每个处理重复 3 次。第一次先加入 150 ml 水使土壤水分接近饱和, 培养 1d 后再向淋溶土柱加入 150 ml 水, 收集 48 h 内淋溶液, 淋溶结束后以刺有小孔的塑料薄膜封闭塑料管上口, 室温下培养 3 d 后, 用 150 ml 水进行第二次淋溶, 以后

各次按同样操作进行, 在培养第 2、5、10、17、26、37、50 天时进行淋溶, 淋溶后收集淋溶液并分析各次淋溶全氮含量。全氮测定方法采用碱性过硫酸钾氧化-紫外光比色法测定^[7]。

1.4 包膜控释肥的肥效试验

1.4.1 菜心盆栽试验 (1) 供试材料。供试肥料: 控释肥料: 同 1. 2. 1; 化肥: 尿素同 1. 1. 1; 过磷酸钙, 广州产, 有效磷 P₂O₅ 115. 4 g kg⁻¹; 氯化钾, 青海产, 有效钾 K₂O 600 g kg⁻¹。供试土壤: 取华南农业大学资源环境学院农场水稻土, pH 6. 24 (质量比水: 土= 5: 1), 有机质 30. 8 g kg⁻¹, 全量 N、P、K 分别为 0. 19 g kg⁻¹、1. 06 g kg⁻¹ 和 25. 69 g kg⁻¹, 有效 N、P、K 分别为 86. 65 mg kg⁻¹、37. 25 mg kg⁻¹ 和 61. 99 mg kg⁻¹。供试作物: 菜心, 品种为精选 80 d 油青。(2) 研究方法。试验设 6 个处理, 4 次重复, 每盆装风干土 4 kg。氮、磷、钾均作基肥与土混匀。肥料种类及用量见表 1。菜心于 2002 年 12 月 14 日播种, 每盆播种 25 粒, 于 2003 年 1 月 3 日对每盆的菜心进行定株, 每盆 6 株, 于 2003 年 2 月 5 日收获, 生长期 53 d。在盆栽期间保证每个处理相同的灌水量。收获时收割菜心地上部分, 称鲜重, 烘干后称干重, 并分析菜心植株内全 N 含量。植株样全氮分析方法采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-比色法^[8]。

表 1 菜心盆栽试验方案

Table 1 Pot trial of Chinese flowering cabbage with different N fertilizer treatments

处理 Treatment	氮肥 N fertilizer		过磷酸钙 Superphosphate	氯化钾 Potassium chloride	养分量 Nutrient rate (mg kg ⁻¹) (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	种类 Variety	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	
CK0	—	—	2. 77	0. 70	0~ 80~ 100
CK1	尿素(等 N) Urea(equal N)	1. 04	2. 77	0. 70	120~ 80~ 100
	尿素(等重) Urea(equal weight)	1. 62	2. 77	0. 70	186~ 80~ 100
T1	PTU ¹	1. 62	2. 77	0. 70	120~ 80~ 100
T2	PLU ^④	1. 62	2. 77	0. 70	120~ 80~ 100
T3	PLHU ^{④⑤}	1. 62	2. 77	0. 70	120~ 80~ 100

¹ 膨润土包膜尿素; ^④膨润土和木素复合材料包膜尿素; ^⑤膨润土和木素复合材料包膜尿素 Note: ¹ Bentonite coated urea; ^④ Bentonite-lignin complex coated urea; ^⑤ Bentonite-lignin complex coated urea

1.4.2 饲料玉米大田小区试验 (1) 供试材料。供试肥料: 同 1. 3. 1。供试作物: 玉米, 品种为华农 1 号。试验地: 华南农业大学资源环境学院农场试验田, pH 5. 42 (质量比水: 土= 5: 1), 有机质 22. 0 g kg⁻¹, 全量 N、P、K 分别为 0. 17 g kg⁻¹、1. 01

g kg⁻¹、25. 11 g kg⁻¹, 有效 N、P、K 分别为 64. 08 mg kg⁻¹、28. 16 mg kg⁻¹、54. 02 mg kg⁻¹。(2) 研究方法。试验设 6 处理, 3 次重复, 共 18 个小区, 每小区面积 10 m × 1. 1 m, 各小区随机排列。氮、磷、钾作基肥于 2003 年 3 月 16 日在距穴 150 mm 处开 100 mm

深的穴施肥。肥料种类及用量见表 2。2003 年 3 月 7 日育种, 9 日播种, 13 日间苗, 玉米行距 600 mm, 株距 250 mm, 每小区 80 株, 排水沟宽 400 mm, 大田四周均留有一条保护行。2003 年 6 月 8 日收获玉米, 全生长期 93 d。收获时收割玉米地上部称鲜重, 从

每小区随机取 8 株玉米, 烘干后称干重, 分析全氮含量, 计算氮肥利用率。收获后对每小区随机 10 点取土壤样品, 分析矿质氮。玉米植株全氮分析方法同 1. 4. 1, 土壤矿质氮分析方法采用 KCl 浸提靛酚蓝比色法^[8]。

表 2 饲料玉米大田试验方案

Table 2 Field trial of forage corn with different N fertilizer treatments

处理 Treatment	氮肥 N fertilizer		过磷酸钙 Superphosphate (g plot ⁻¹)	氯化钾 Potassium chloride (g plot ⁻¹)	养分量 Nutrient rate (kg hm ⁻²) (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	种类 Variety	(g plot ⁻¹)			
CK0	—	—	1 099. 90	289. 46	0~ 120~ 150
CK1	尿素(等 N) Urea(equal N)	430. 40	1 099. 90	289. 46	180~ 120~ 150
CK2	尿素(等重) Urea(equal weight)	668. 88	1 099. 90	289. 46	280~ 120~ 150
T1	PTU ¹	668. 88	1 099. 90	289. 46	180~ 120~ 150
T2	PLU ^④	668. 88	1 099. 90	289. 46	180~ 120~ 150
T3	PLHU ^{④⑤}	668. 88	1 099. 90	289. 46	180~ 120~ 150

¹ 膨润土包膜尿素; ^④膨润土和木素复合材料包膜尿素; ^⑤膨润土和木素复合材料包膜尿素 Note: ¹ Bentonite coated urea; ^④ Bentonite-lignin complex coated urea; ^⑤Bentonite-lignin complex coated urea

2 结果与分析

2.1 单一和复合材料的控释肥料膜结构特征比较

为比较膨润土和膨润土复合材料包膜尿素的膜结构特征的差异, 扫描电镜放大 1 000 倍观察拍摄控释肥料包膜层的内、外表面图像(图 1)。从图中可知, 包膜层由固体粉末细粒紧密排列并通过粘胶联的多层堆叠而成, 光滑的外表面在微观结构中是凹凸不平的不规则面。PLHU 包膜层的内、外表面的膜结构比 PTU 明显致密, 膜孔隙数量少, 细粒间紧密堆积程度高, 使养分的释放速度慢。这从微观结构方面揭示了复合材料包膜尿素肥效高于膨润土包膜尿素肥效的原因, 并对今后筛选矿物材料和复合材料提供了一种微观结构的比较研究方法。

为比较膨润土和复合材料包膜尿素的膜厚度的差异, 扫描电镜放大 200 倍观察拍摄控释肥料包膜层的厚度图像(图 2)。在相同含氮的情况下, PTU 的膜厚度范围在 293~ 303 μm 之间, 平均厚度为 299 μm; PLHU 的膜厚度范围在 245~ 255 μm 之间, 平均

厚度为 250 μm。PLHU 包膜层厚度比 PTU 变薄, 表明复合材料中的木素有利于膨润土包膜层的结构紧密坚实, 细粒之间紧密度增加, 膜层变得紧密。这与膨润土的层状结构及木素的理化性质有关, 木素可能进入膨润土的层间及填充膨润土颗粒间的空隙, 使其更致密, 故可减少水分的透性而提高对养分的控释效果。

2.2 包膜控释肥在土壤中溶出特性

包膜控释肥和普通尿素在土壤中的氮素累积溶出率曲线如图 3 所示。结果表明, 包膜控释肥 50 d 的氮素累积率远低于普通尿素, PTU、PLU、PLHU 分别比普通尿素降低 8. 61、14. 01、15. 22 个百分点。这表明膨润土及其复合材料作为控释材料能较好的控释养分在土壤中的释放, 减少养分的淋溶损失。两种复合控释材料比膨润土的控释能力增强, 氮素累积溶出量分别降低 11. 31%、13. 83%, 表明复合材料中的木素可提高控释能力, 减少氮的淋失量, 因而有较好的保肥效果, 这同包膜尿素膜结构的电镜扫描结果一致。两种复合材料包膜尿素之间的氮素累积溶出率没有明显的差别。

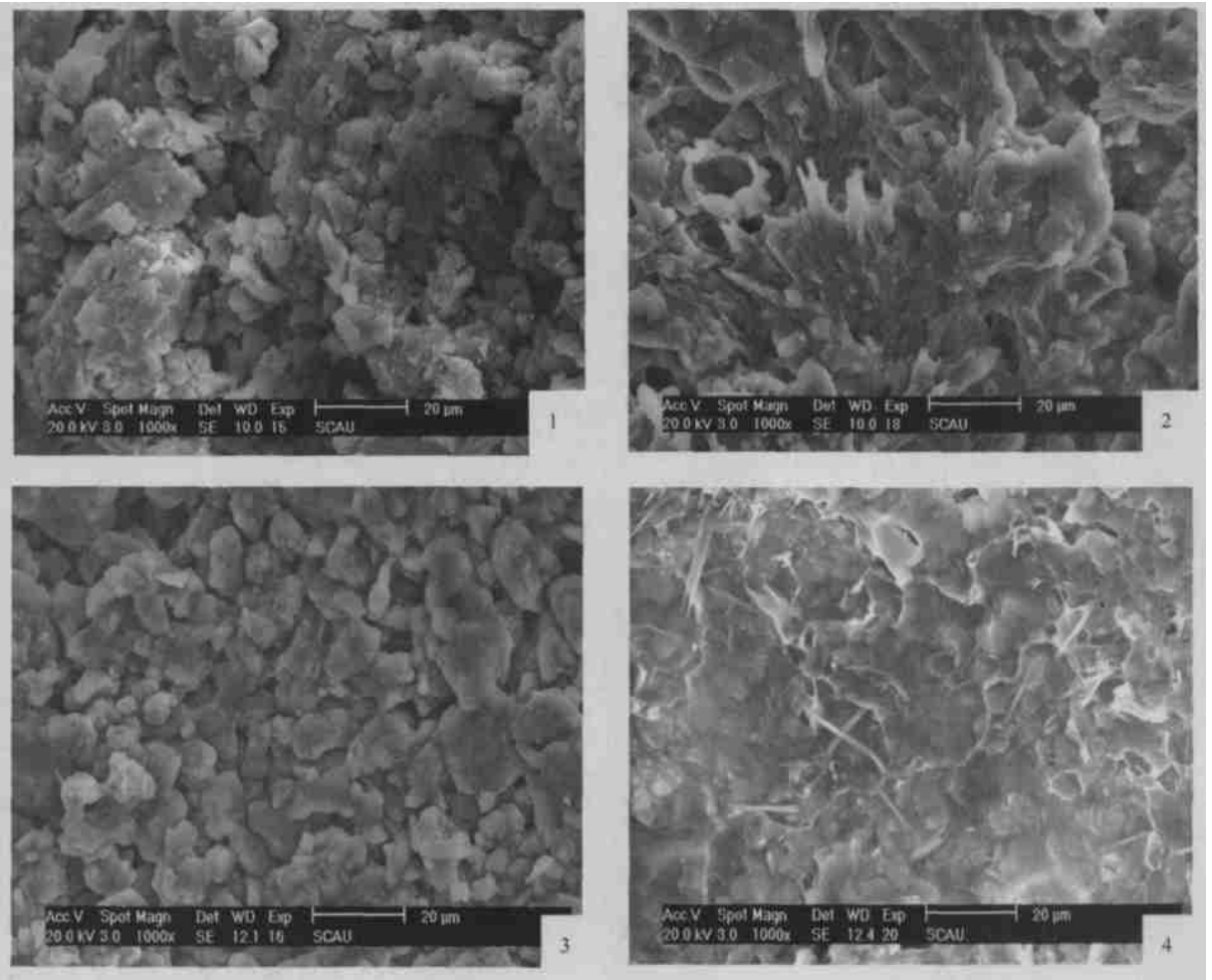


图 1 膨润土及复合材料包膜层的外表面和内表面扫描电镜图

Fig. 1 Scanning electron photomicrograph of the exterior and interior surfaces of bentonite and the bentonite- lignin complex coated fertilizer
注 1. PTU 外表面; 2. PIHU 外表面; 3. PTU 内表面; 4. PIHU 内表面 Note: 1. PTU exterior; 2. PIHU exterior; 3. PTU interior; 4. PIHU Interior

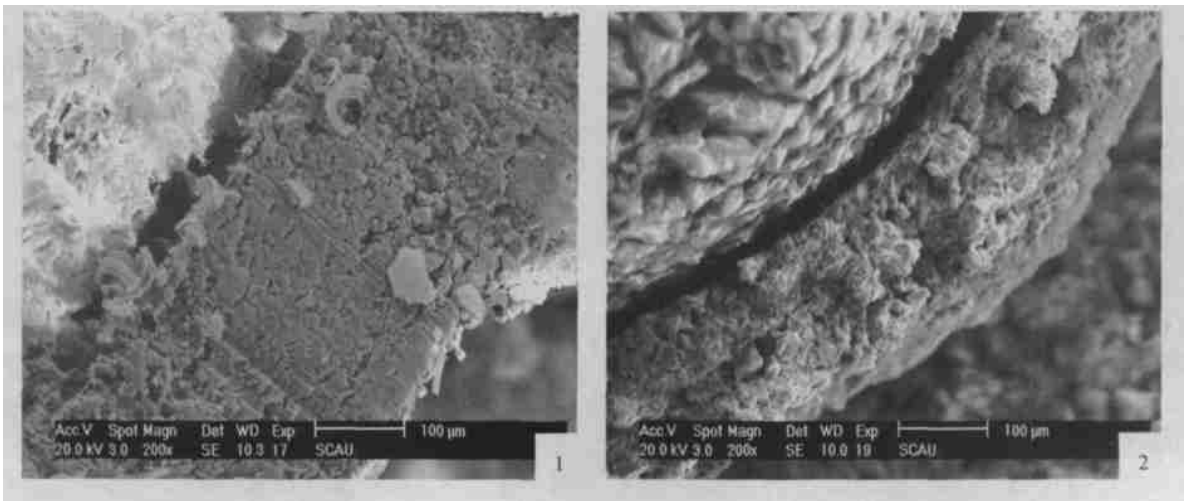


图 2 膨润土及其复合材料包膜控释肥料断面扫描电镜图

Fig. 2 Scanning electron photomicrograph of the cross section of bentonite and the bentonite-lignin complex coated fertilizer
注: 1. PTU 断面; 2. PIHU 断面 Note: 1. PTU cross section; 2. PIHU cross section

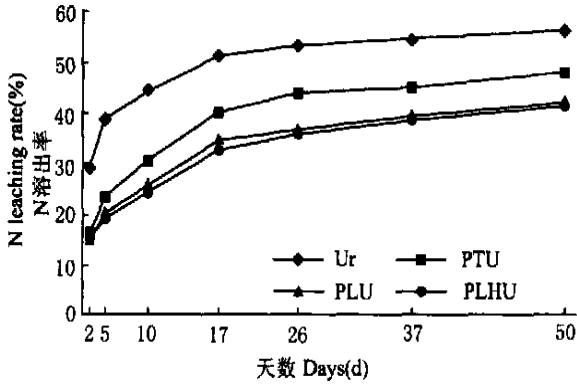


图3 控释氮肥在土壤中氮素累积溶出率

Fig. 3 N cumulate leaching rate curves of controlled-release fertilizers in soil

2.3 包膜控释肥肥效试验结果

2.3.1 盆栽生物产量及植株氮肥利用率 与普通尿素处理相比,包膜控释肥处理菜心生物量有明显增产(表3)。与等N处理CK1相比,T1、T2、T3增产幅度分别为9.75%、12.37%、18.08%,复合材料包膜控释肥的增产幅度高于单用膨润土包膜控释肥。与等重处理CK2相比,T1、T2、T3增产幅度分别为7.92%、10.56%、16.42%,表明在较低氮的情况下,包膜控释肥也有明显的增产效果。

在植株氮肥利用率上,包膜控释肥处理均显著高于普通尿素处理,利用率提高了约15~27个百分点。复合材料包膜尿素处理的效果也明显优于膨润土包膜处理,其中PLHU处理得当造氮肥利用率最高,达到41.5%。

表3 盆栽生物量及氮肥利用率

Table 3 Biomass and N recovery rate in pot experiment

处理 Treatment	干重 Dry weight (g pot ⁻¹)	增产 Increasing yield (%)		氮肥利用率 N recovery rate (%)	利用率提高百分点 Increased percent point	
		较CK1 over CK1	较CK2 over CK2		较CK1 over CK1	较CK2 over CK2
		CK0	5.63c		—	—
CK1	6.68b	—	—	14.5d	—	—
CK2	6.82b	—	—	14.0d	—	—
T1	7.36ab	9.75	7.92	29.7c	15.2	15.7
T2	7.54ab	12.37	10.56	36.0b	21.5	22.0
T3	7.94a	18.08	16.42	41.5a	27.0	27.5

注:表中数据用SAS软件进行分析,多重比较采用Duncan法。同列数据中具有相同字母的数据无显著性差异($p = 0.05$)。Note: Software SAS was used for data analysis and the multiple comparison used the Duncan method, mean values in the same column followed by the same letters are not significantly different ($p = 0.05$)

2.3.2 饲料玉米大田小区试验 (1) 饲料玉米生物量及其氮肥利用率。在大田环境下,养分的损失特别是氮素的淋溶损失是一个长期连续的过程,因此,其生物量的高低能很好的反应控释肥料的控释效果。包膜控释肥明显比等养分的普通尿素增产,增产幅度在9.05%~11.19%;且在比等重的普通尿素处理减少养分达35%情况下,仍能增产(表4)。复合材料包膜尿素处理的产量高于膨润土包膜处理,这与包膜控释肥包膜层的电镜结构特征及在土壤中的养分累积溶出率的试验结果一致,说明复合材料提高了养分控释能力。在氮肥利用率方面,

包膜控释肥处理的氮肥利用率较等养分普通尿素处理有明显提高(表4)。(2) 饲料玉米收获后土壤残留氮分析。饲料玉米收获后,与等养分普通尿素相比,包膜控释肥处理的土壤硝态氮含量明显提高,复合材料包膜尿素处理土壤硝态氮含量比单用膨润土包膜尿素处理明显提高(表5)。包膜控释肥处理的土壤铵态氮、矿质态氮含量比等养分普通尿素处理有不同幅度提高。与普通尿素相比,包膜控释肥有明显的保肥能力,可保留更多的土壤氮,即提高当季肥料利用率的同时并不消耗土壤养分,为土壤保留更多的养分而利于下季作物。

表4 饲料玉米生物量及氮肥利用率

Table 4 Biomass and N recovery rate of forage maize

处理 Treatment	生物量(鲜重) Biomass(fresh weight)		增产 Increasing yield(%)		氮肥利用率 N recovery rate(%)	提高百分点 Increased percent point	
	(kg plot ⁻¹)	(kg hm ⁻²)	较 CK1	较 CK2		较 CK1 over CK1	较 CK2 over CK2
			over CK1	over CK2			
CK0	62.2b	5.65×10 ⁴ b	—	—	—	—	—
CK1	70.0ab	6.37×10 ⁴ ab	—	—	34.3a	—	—
CK2	75.5a	6.87×10 ⁴ a	—	—	34.6a	—	—
T1	76.3a	6.94×10 ⁴ a	9.05	1.10	39.7a	5.44	5.11
T2	77.3a	7.03×10 ⁴ a	10.48	2.43	40.6a	6.30	5.97
T3	77.8a	7.08×10 ⁴ a	11.19	3.09	41.6a	7.29	6.96

注:表中数据用 SAS 软件进行分析,多重比较采用 Duncan 法。同列数据中具有相同字母的数据无显著性差异($p = 0.05$)。Note: Software SAS was used for data analysis and the multiple comparison used the Duncan method, mean values in the same column followed by the same letters are not significantly different ($p = 0.05$)

表5 饲料玉米收获后土壤铵态氮和硝态氮含量

Table 5 The residual $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soil after the maize was harvested

处理 Treatment	硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg kg ⁻¹)	铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg kg ⁻¹)	矿质态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N} + \text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg kg ⁻¹)
CK0	26.4c	25.2b	51.6c
CK1	27.9bc	33.0ab	60.8bc
CK2	36.4ab	36.0ab	72.4ab
T1	34.2abc	40.3a	74.5ab
T2	43.5a	34.0ab	77.5a
T2	38.5a	34.5ab	73.0ab

注:表中数据用 SAS 软件进行分析,多重比较采用 Duncan 法。同列数据中具有相同字母的数据无显著性差异($p = 0.05$)。Note: Software SAS was used for data analysis and the multiple comparison used the Duncan method, mean values in the same column followed by the same letters are not significantly different ($p = 0.05$)

2.4 矿物-木素复合材料的控释效果分析

膨润土和木素复合材料包膜尿素包膜层的厚度明显比膨润土包膜尿素变薄,膜孔隙量少,这与其粒间堆积紧密有关,电镜扫描照片清楚显示这一变化。这表明木素可能进入膨润土的层间及填充膨润土颗粒间的空隙,使其更致密,减少水分的透性;木素溶于水后可与肥料养分产生吸持、键合等作用,延缓肥料养分释放,故复合材料可明显提高对养分的控释性能。矿物与木素复合尚有许多可能组合,如本研究所采用的膨润土和木素的复合的比例及木素的种类不同,对复合材料的控释效果有明显的影响,进一步深入研究,可为今后复合材料的开发开拓新的途

径。

菜心盆栽试验、饲料玉米大田试验均表明:复合材料处理的生物量及植株氮肥利用率明显高于膨润土包膜尿素处理,这和复合材料的控释性能及在土壤中的溶出特性有关。饲料玉米大田试验的生物量增产幅度及氮肥利用率提高幅度低于菜心盆栽试验。其原因与作物种类、土壤肥力贡献和试验季节有关。饲料玉米营养特性不同于菜心,尤其是饲料玉米比菜心的根系发达,能够利用土壤深层养分;大田试验普通尿素处理(CK1)的生物量与不施氮肥处理的比例(1.13)小于盆栽试验的比例(1.19),而且大田土量远大于盆栽土壤,这都使得大田产量的地力贡献大于盆栽土壤;盆栽、大田试验的季节不同,盆栽试验在冬季,气温较低,影响脲酶的活性,而大田试验处于春末初夏时节,气温适宜;由于上述原因造成了大田增产幅度较小。但控释肥料,尤其是复合材料控释肥料的肥效优越性在大田和盆栽试验中都是一致的。

3 结论

复合材料用于控释肥料优于单一膨润土,可明显提高膜的控释性能,土柱淋溶试验表明两种复合材料处理的氮素累积溶出量分别比膨润土处理降低11.31%、13.83%;植株氮肥利用率和生物量均有提高。

电镜研究显示复合材料成膜较单一膨润土的包膜层的粒间堆积紧密,膜结构明显致密,膜孔隙量少,厚度明显变薄,使养分的释放速度慢,因而控释

效果好。

膨润土与木素复合制成控释材料是开拓我国富有的矿物材料和工业废弃物新用途的成功尝试,今后深入开展这一领域的研究对资源高效利用和发展有中国特色控释肥料都有重要意义。

参考文献

- [1] 杜昌文, 周健民. 控释肥料的研制及其进展. 土壤, 2002, 3: 127~ 133. Du C W, Zhou J M. Preparation of controlled-release fertilizer and progress made in this respect (In Chinese). Soils, 2002, 3: 127~ 133
- [2] 廖宗文, 刘可星, 王德汉, 等. 发展有中国特色的控释肥. 中国农业科技导报, 2001, 3(4): 71~ 75. Liao Z W, Liu K X, Wang D H, *et al.* Developing controlled-release fertilizer with Chinese characteristics (In Chinese). Review of China Agricultural Science and Technology, 2001, 3(4): 71~ 75
- [3] 张杨珠, 陈军文, 黄运湘, 等. 几种天然养分载体的保肥供肥特性研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(4): 312~ 317. Zhang Y Z, Lu J W, Hong Y X, *et al.* On the nutrients-supplying and retaining properties of some natural nutrient carriers (In Chinese). Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Ed), 2003, 29(4): 312~ 317
- [4] 宋波, 毛小云, 杜建军, 等. 控释技术处理碳铵、尿素的肥效及其机理初探. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 50~ 56. Song B, Mao X Y, Du J J, *et al.* Study on fertilizer efficiency and its mechanism of urea and ammonium bicarbonate treated with controlled release technology (In Chinese). Plant Nutrient and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 50~ 56
- [5] 王德汉, 彭俊杰, 廖宗文. 木质素包膜尿素(LCU) 的研制及其肥效试验. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 185~ 188. Wand D H, Peng J J, Liao Z W. Preparation of lignin-coated urea (LCU) and its fertilizer efficiency test (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(2): 185~ 188
- [6] Paramasivam S, Alva A K. Nitrogen release characteristics of controlled-release fertilizers under intermittent leaching and dry cycling. Soil Sci., 1997, 162: 447~ 453
- [7] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 186~ 194. Agro-chemistry Commission, Soil Science Society of China. Routine Analytical Methods for Soil and Agro-chemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 186~ 194
- [8] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 农业出版社, 2000. 1~ 336. Lu R K. ed. Soil Agricultural Chemistry Analysis (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 2000. 1~ 336

RELEASE-CONTROLLING COMPLEX MATERIAL'S CAPABILITY, FERTILIZER EFFICIENCY AND COATING CHARACTERISTICS

Sun Kejun Lu Qiming Mao Xiaoyun Liao Zongwen

(College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract Bentonite and lignin were blended and prepared into a kind of releasing-controlling material, which was then used as coating for manufacture of coated-controlled-release fertilizer. The scanning electron photomicrographs showed that the coating was thinner, with fewer cracks and more compact intergranular deposit than the coating of mere bentonite. The soil column leaching test indicated that the cumulative N leaching rate of the urea coated with either bentonite or the complex within 50 days was much lower than that of common urea. In three coating treatments, it decreased by 8.61%, 14.01% and 15.22%, respectively, in comparison with CK, common urea. The total N leaching of the two treatments using complex materials as coating was 11.31%, 13.83% lower than the treatment using bentonite as coating. The pot and field trials also showed that application of urea coated with either complex could significantly increase crop yield and N recovery rate, suggesting that it is advisable to use. The mixture of bentonite and lignin as coating material, which suits the conditions of the country in developing controlled-release fertilizer.

Key words Complex release-controlling material; N recovery rate; Fertilizer efficiency; Scanning electron microscope; Coating characteristics