不同土壤淋洗方式下有机－无机复合材料胶结包膜肥料氮素溶出速率比较

肖 强，王甲辰，左 强，张 琳，刘宝存，赵同科，邹国元
（北京市农林科学院植物营养与资源研究所，北京 100097）

摘 要：应用采用水基成膜法研制的4种有机－无机复合材料胶结包膜肥料（B2、PS、F2、F2F）进行土柱淋洗试验，研究其在不同土壤类型条件下的氮素溶出规律。结果表明：4种胶结包膜肥料氮素累积溶出率达到50%所需时间为B2 42 d左右、PS 36 d左右、F2 30 d左右、F2F 18～24 d；B2的累积溶出率曲线最平缓，其后依次为PS、F2和F2F。同一种胶结包膜肥料在红壤、褐土和黑土中的氮素溶出率峰值出现时间一致（以B2为例）；氮素溶出峰值之前，瞬时溶出率在2～13 d内为红壤＞褐土＞黑土，峰值氮素溶出率为红壤（12.84%）＞褐土（10.15%）＞黑土（8.39%），而峰值过后，24～48 d氮素瞬时溶出率褐土最高，红壤与黑土之间差异不显著（$P<0.05$）。说明包膜肥料本身释放氮素的速率受不同质地的土壤影响较小，但其淋出量受土壤影响较大。

关键词：水基成膜；有机－无机复合材料；胶结；包膜；土壤类型；淋洗
中图分类号：S143.6 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-7601(2010)01-0083-05

目前世界上氮肥的当季利用率较低（＜50%）[1]，损失的肥料绝大部分经淋溶随水进入地下和江河，不仅造成了巨大的经济损失，还造成了大气层、水体、土壤等环境污染，为了解决现有化肥养分利用率低的问题，人们开始研制缓/控释肥料。缓/控释肥料是通过缓释和控释技术，使肥料养分缓慢释放达到与作物需肥规律相接近程度的一类肥料，缓/控释肥料能显著提高养分利用率，增加作物产量[2,3]。但是缓/控释肥料目前主要应用在经济作物和高尔夫球场，限制其在农业上广泛应用的主要因素为：一是缓/控释肥料成本高，主要是缓/控释材料价格高，制备工艺复杂；二是包膜设备规模小，费用高；三是目前的包膜材料进入土壤很难降解，降解周期30～50 a，连年施用将对土壤造成污染；四是目前的缓/控释肥料大部分都是单质型，以氮为主进行包膜，而忽略磷钾的缓释；五是价格与产出很难达到兼容。另外，由于缓/控释肥料的种类很多，其缓/控释的机理也不尽相同，因此，评价其养分释放特性的方法也有区别，没有确定而统一的缓/控释肥料评价指标，目前较为广泛应用的是土柱淋洗方法，但是由于不同土壤物理化学性质不同，评价结果也不甚一致[4]。研制具有一定缓释效果、成本低且易降解的缓/控释肥料是缓/控释肥料今后发展的新方向，建立快速合理的肥料检测方法对肥料行业的管理和企业的生产销售具有重大的实际意义[5,6]。

因此，针对上述存在的问题，笔者以氮磷钾化肥为原料，通过试验研究，探索利用微乳化和高剪切技术，以水为主要溶剂原料，通过对不同添加物质和包膜材料的筛选及配伍，研制出4种低成本、易降解、具有不同缓释作用和性价比的有机－无机复合材料；通过圆盘喷雾造粒技术，研制出4种有机－无机复合材料胶结包膜型缓/控释肥料[4]，并评价了其工艺性能和生物学效应。本文的主要目的是利用研制出的4种有机－无机复合材料胶结包膜型缓/控释肥料，对其进行不同土壤淋洗方式下的氮素溶出速率的对比研究，以期为缓/控释肥料的快速评价方法的建立提供理论基础，目前对此方面的研究鲜见报导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验用土壤 取过18目筛（1 mm）的风干湖南祁阳红壤、北京昌平褐土与吉林公主岭黑土，收集备用，土壤性状见表1和表2。

1.1.2 试验用肥料 丙烯酸酯类复合材料胶结包膜肥料（B2），废弃PS复合材料胶结包膜肥料（PS），

收稿日期：2009-04-09
基金项目：北京市科技新星计划B类（2008B38）；北京市农林科学院博士基金"适用于半干旱条件下的微水溶性胶结包膜缓释肥的研制及评价"；北京市科委项目"多功能肥料/基质研究与开发"（d0706004040431）；北京市自然科学基金（6092019）
作者简介：肖 强（1978—），男，博士，辽宁人，主要从事缓控释肥料与面源污染研究。E-mail：xqiang1978@163.com。
通讯作者：邹国元，E-mail：gyzou@163.com。

万方数据

不饱和聚酯复合材料胶结包膜肥料(F2),腐殖酸类复合材料胶结包膜肥料(F2F)[4]和NPK复合肥。4种有机-无机复合材料胶结包膜肥料含N:18%,P_2O_5:10%,K_2O:11%;NPK复合肥含N:20%,P_2O_5:10%,K_2O:10%。

表1 土壤理化性状

Table 1 Soil characteristics

土类 Soil type	地点 Situation	母质 Parent material	粘土矿物 Clay materials	质地 Texture	有机质 Organic material (g/kg)	pH (H_2O)	CEC (cmol/kg)	盐基饱和度 BS (%)	粘粒 Clay particle (<0.002mm, g/kg)	容重 Bulk density (g/cm³)
褐土 Drab soil	北京昌平 Beijing Changping	黄土 Loess	水化云母蛭石蒙脱石 Hydrated mica Vermiculite Montmorillonite	壤质 Loam	22.5	8.1	45	90	104	1.33
红壤 Red soil	湖南祁阳 Hunan Qiyang	第四纪红土 Quaternary red	高岭石 Kaolinite	粘土 Clay	17.6	5.2	20	33	250	1.16
黑土 Black soil	吉林公主岭 Jilin Gongzhuling	第四纪黄土状沉积物 Quaternary loess sediment	伊利石蒙脱石 Illite Montmorillonite	壤质粘土 Loamy clay	30.1	6.8	50	100	232	1.25

注:红壤盐基饱和度以有效阳离子计算。

Note: Base saturation of red soil is calculated base on effective cation

表2 土壤速效养分状况(mg/kg)

Table 2 Soil available nutrient status

土类 Soil type	速效N Avail.N	速效P Avail.P	速效K Avail.K
褐土 Drab soil	70	18	106
红壤 Red soil	60	9.6	70
黑土 Black soil	110	40	180

1.2 方 法

土柱淋洗试验装置见图1。淋洗管(砂芯型号:G3)下端砂芯上铺平一层面积与砂芯面积相同的定量滤纸,分别取过1 mm筛子的三种土壤各100 g分别置于不同的淋洗管下端,用蒸馏水湿润土柱(2~3次),使土柱达到饱和,晃动土柱,使土面平整,待淋洗管下端不流出水后,静置2 h左右。然后迅速将2.00 g有机-无机复合材料胶结包膜肥料放在饱和的土柱上面,轻晃土柱,使肥料铺平,立刻再将20 g对应的土壤放在肥料上面,轻晃,使土面平整。土面上再放大小相当的一层滤纸,铺平。用10 ml蒸馏水湿润肥料上面的20 g土柱(根据试验所得,使20 g土柱恰好饱和需水10 ml),静置2 h,然后用20 ml蒸馏水淋洗土柱,并收集滤液。取样时间为2 d,4 d,8 d,13 d,18 d,24 d,30 d,36 d,42 d,48 d(共10次)。每次收集滤液前向容器中滴加2滴浓硫酸,并定容至100 ml,3次重复,同时作空白试验。氮素瞬时溶出率(%)=(各肥料处理每次淋滤液总氮含量/空白处理每次淋滤液总氮含量)/肥料氮含量×100%;氮素累积溶出率(%)=(各肥料处理前n次淋滤液氮含量总和-空白处理前n次淋滤液总氮含量/肥料氮含量)×100%($n=1\sim10$)。

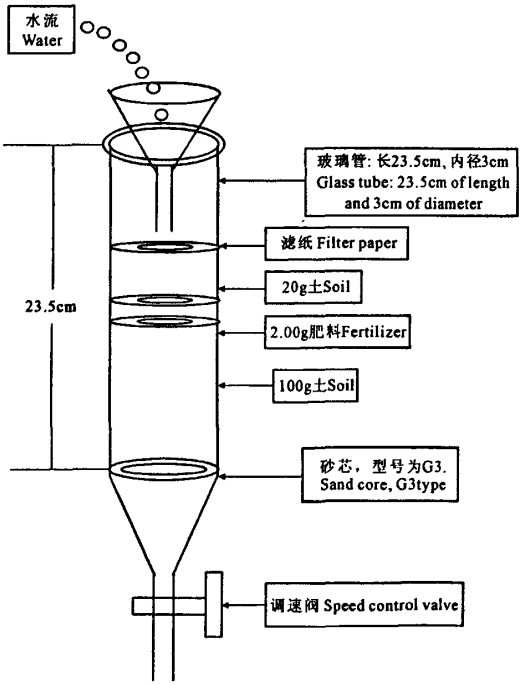

图1 淋洗试验装置图

Fig.1 Leaching tester

1.3 测定项目

淋滤液全氮,硫酸消煮蒸馏法。

万方数据

2 结果与分析

2.1 同一种土壤不同包膜肥料氮素溶出率

从表 3 可看出,对于褐土,5 种肥料氮素溶出率各不相同。总体规律都呈现低—高—低的变化趋势,但其变化幅度、氮素溶出速率各不相同。NPK 处理氮素初期溶出率就很高,为 1.19%,至第 4 天达到 16.06%,至第 8 天骤升为 42.65%,接近 50%,说明 NPK 处理氮素溶出率基本上是一次释放出来的。4 种包膜肥料氮素溶出曲线要缓和得多,表现出了一定的缓释性能。初期氮素溶出率较小(0.33% ~ 0.84%),包膜肥料间差别不显著,之后逐渐升高,B2 至第 18 天达到氮素溶出峰值,PS、F2 和 F2F 至第 13 天达到溶出高峰值,峰值相比为 B2(10.15%) < PS(12.74%) < F2(16.93%) < F2F(19.97%);之后氮素溶出率逐渐下降,至第 48 天,氮素溶出率为 B2(3.33%) > F2(1.5%) ≈ PS(1.4%) > F2F(0.81%)。峰值之前同一时间段内氮素溶出率为 B2 最低,PS、F2、F2F 依次升高,峰值之后逐渐变化为 B2 最高,PS、F2、F2F 依次降低。在红壤和黑土中 4 种包膜肥料的氮素瞬时溶出率的规律与褐土的相同。

表 3　不同土壤柱淋洗胶结包膜肥料氮素瞬时溶出率(%)

Table 3　Nitrogen instantly dissolved ratio of felted and coated fertilizer in different soil columns

土壤 Soil	肥料 Fert.	2 d	4 d	8 d	13 d	18 d	24 d	30 d	36 d	42 d	48 d
褐土 Drab soil	NPK	1.19±0.19a	16.06±0.59a	42.65±3.25a	7.91±0.39c	4.91±0.28c	2.11±0.83c	0.55±0.13c	0.23±0.12c	0.28±0.04d	0.29±0.01d
	B2	0.33±0.12cd	2.15±0.2d	4.89±0.33d	6.44±0.35c	10.15±0.46a	8.83±0.54a	8.03±0.48a	5.78±0.05a	4.71±0.06a	3.33±0.11a
	PS	0.24±0.07d	3.69±0.79c	7.74±0.56bc	12.74±1.13b	8.81±0.84b	7.62±0.31ab	6.11±0.54ab	4.32±0.19a	3.49±0.35ab	1.4±0.45b
	F2	0.73±0.07bc	3.56±0.16c	7.83±1.83bc	16.93±1.9ab	9.69±0.54ab	8.13±0.42a	5.93±0.1b	2.64±0.08b	2.54±0.5b	1.5±0.07b
	F2F	0.84±0.15ab	5.03±0.25b	10.78±1.08b	19.97±1.42a	10.02±0.47a	6.83±0.58b	4.9±0.45b	2.8±0.34b	1.17±0.16c	0.81±0.19c
红壤 Red soil	NPK	1.22±0.08a	18.04±1.55a	46.98±2.77a	9.63±2.96b	4.65±0.78c	0.74±0.16c	0.38±0.25c	0.31±0.34c	0.07±0.04c	0.17±0.07d
	B2	0.51±0.00bc	4.14±0.42b	7.25±0.40c	9.62±0.8b	12.84±0.89a	7.97±0.31a	6.59±0.65a	4.62±0.04a	3.28±0.19a	2.38±0.21a
	PS	0.42±0.06bc	4.75±0.29b	8.69±1.46c	20.21±1.72a	10.13±0.76ab	6.64±0.39ab	4.96±0.85ab	3.34±0.55a	2.61±0.28a	1.31±0.03b
	F2	0.84±0.03bc	4.74±0.33b	8.88±0.64c	22.34±2.76a	11.88±1.64a	7.2±0.79a	4.97±0.92ab	2.02±0.25ab	1.12±0.33b	1.21±0.21b
	F2F	1.09±0.04ab	6.00±0.78b	14.4±0.82b	21.9±1.29a	8.74±0.59b	5.93±0.29b	3.84±0.64b	2.42±0.37ab	1.03±0.11b	0.85±0.03c
黑土 Black soil	NPK	0.82±0.08a	9.59±1.07a	21.09±1.41a	17.33±1.58a	4.49±1.91b	2.45±0.14c	0.8±1.11c	0.61±0.85c	0.51±0.7c	0.09±0.11c
	B2	0.6±0.24ab	1.76±0.08d	3.55±0.66c	5.23±0.64c	8.39±0.57a	7.01±0.69a	5.29±0.83a	4.11±0.06a	3.62±0.45a	2.13±0.02a
	PS	0.3±0.07bc	2.72±0.42bc	5.51±0.46c	9.48±0.64b	7.55±0.14a	5.89±0.62ab	4.39±0.2ab	3.32±0.11ab	2.36±0.37a	0.99±0.14b
	F2	0.39±0.00bc	2.66±0.10c	5.53±1.41c	13.89±0.73ab	8.19±0.7a	6.13±0.15a	4.12±1.05ab	2.33±0.15b	2.13±0.48a	1.11±0.08b
	F2F	0.43±0.35ab	4.17±0.59b	8.79±0.93b	16.94±1.06a	7.84±0.64a	3.48±1.2c	3.03±0.6b	2.63±0.12b	1.87±0.3b	0.91±0.23b

注:不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters stand for significant at 0.05 levels. They are the same in the following.

从表 4 氮素累积溶出率看出,在褐土中,至第 48 天止,5 种肥料的氮素累积溶出率为 B2(54.65%) < PS(56.16%) < F2(59.47%) < F2F(63.12%) < NPK(76.17%),4 种包膜肥料氮素累积溶出率达到 50%所需时间 B2 为 42 d 左右、PS 为 36 d 左右、F2 为 30 d 左右、F2F 为 18 ~ 24 d。从累积溶出率曲线看,B2 的曲线最平缓,其后依次为 PS、F2 和 F2F。从氮素瞬时溶出率和累积溶出率看出,4 种包膜肥料缓释性优劣为 B2 > PS > F2 > F2F。4 种包膜肥料在红壤和黑土中的变化与褐土的大致相同,这里不再论述。

2.2 同一种包膜肥料不同土壤氮素溶出率

我们在前面分析过,氮素从膜内释放出来的主要方式为扩散,因此膜内外的水蒸气压差、氮素浓度可能对其释放量有一些影响。从表 3 看出,同一种包膜肥料在三种土壤中的氮素瞬时溶出率虽然峰值出现时间一致(B2 为第 18 天后,PS、F2、F2F 为第 13 天后),但是氮素溶出率不同。对 B2 包膜肥料,氮素溶出峰值之前,瞬时溶出率在 2 ~ 13 d 为红壤(0.51%、4.14%、7.25%、9.62%) > 褐土(0.33%、2.15%、4.89%、6.44%) > 黑土(0.6%、1.76%、3.55%、5.23%),峰值氮素溶出率为红壤(12.84%) > 褐土(10.15%) > 黑土(8.39%),而峰值过后,从 24 ~ 48 d 氮素瞬时溶出率为褐土最高(8.83%、8.03%、5.78%、4.71%、3.33%),红壤(7.97%、6.59%、4.62%、3.28%、2.38%)与黑土(7.01%、5.29%、4.11%、3.62%、2.13%)之间差异不显著。从 B2 氮素累积溶出率(表 4)看出,同一时段在红壤

万方数据

中氮素溶出率最高(0.51%～34.36%～59.18%)，其次是褐土(0.33%～23.97%～54.65%)，最后为黑土(0.6%～19.51%～41.65%)。PS、F2、F2F在三种土壤中氮素的溶出率的变化与B2相同。由此得出的可能结论是包膜肥料本身养分释放速率受不同质地的土壤影响较小，但其淋出量受其影响较大。

表4 不同土壤柱淋洗胶结包膜肥料氮素累积溶出率(%)

Table 4 Nitrogen accumulated dissolved ratio of felted and coated fertilizer in different soil columns

土壤 Soil	肥料 Fert.	2 d	4 d	8 d	13 d	18 d	24 d	30 d	36 d	42 d	48 d
褐土 Drab soil	NPK	1.19±0.19a	17.25±0.40a	59.90±2.84a	67.81±2.46a	72.72±2.17a	74.82±1.35a	75.37±1.22a	75.60±1.34a	75.88±1.30a	76.17±1.31a
	B2	0.33±0.12cd	2.48±0.32d	7.37±0.01d	13.82±0.36e	23.97±0.82d	32.80±1.36d	40.83±1.84d	46.61±1.89d	51.32±1.95d	54.65±1.84d
	PS	0.24±0.07d	3.93±0.72cd	11.67±0.16e	24.41±0.97d	33.22±1.81cd	40.84±2.13c	46.95±2.66cd	51.27±2.85cd	54.76±3.20cd	56.16±2.75cd
	F2	0.73±0.07bc	4.28±0.23bc	12.11±1.61c	29.04±0.29c	38.73±0.83c	46.86±1.25c	52.79±1.36bc	55.43±1.43c	57.97±0.93bc	59.47±0.86bc
	F2F	0.84±0.15ab	5.87±0.40b	16.64±0.68b	36.61±2.10b	46.62±1.63b	53.45±1.05b	58.35±0.60b	61.15±0.26b	62.31±0.10b	63.12±0.29b
红壤 Red soil	NPK	1.22±0.08a	19.26±1.46a	66.23±4.24a	75.86±1.28a	80.51±0.50a	81.25±0.66a	81.63±0.91a	81.94±0.57a	82.01±0.54a	82.17±0.61a
	B2	0.51±0.00bc	4.65±0.42e	11.89±0.02d	21.52±0.77d	34.36±1.66e	42.33±1.97d	48.92±2.62c	53.53±2.59d	56.81±2.40c	59.18±2.19c
	PS	0.42±0.06bc	5.17±0.35bc	13.85±1.81cd	34.06±0.09c	44.19±0.84d	50.82±1.23c	55.78±0.38c	59.12±0.93cd	61.73±0.65bc	63.04±0.68bc
	F2	0.84±0.03bc	5.58±0.36bc	14.45±1.00c	36.79±3.77bc	48.68±2.13cd	55.88±1.34bc	60.85±0.42b	62.86±0.17bc	63.98±0.15b	65.19±0.06b
	F2F	1.09±0.04ab	7.09±0.74b	21.49±0.08b	43.39±1.36b	52.13±0.77bc	58.05±0.48b	61.89±0.16b	64.31±0.52b	65.34±0.63b	66.19±0.66b
黑土 Black soil	NPK	0.82±0.08a	10.41±0.99a	31.50±2.40a	48.83±3.99a	53.32±2.08a	55.77±2.21a	56.57±1.10a	57.18±0.26a	57.68±0.44a	57.78±0.55a
	B2	0.60±0.24ab	2.35±0.16e	5.90±0.82d	11.13±1.45d	19.51±2.03e	26.52±2.71d	31.80±3.54c	35.91±3.60d	39.52±3.16e	41.65±3.18d
	PS	0.30±0.07bc	3.02±0.36bc	8.53±0.10c	18.01±0.53c	25.56±0.39d	31.45±1.01cd	35.84±0.82c	39.15±0.71cd	41.51±0.34d	42.50±0.48cd
	F2	0.39±0.00bc	3.05±0.10bc	8.58±1.51c	22.47±0.78c	30.65±0.08c	36.78±0.23bc	40.89±1.29b	43.22±1.44bc	45.35±1.92cd	46.46±2.00bc
	F2F	0.43±0.35ab	4.60±0.94b	13.39±0.01b	30.33±1.05b	38.17±0.42b	41.65±1.62b	44.68±1.02b	47.32±0.90b	49.19±0.60bc	50.10±0.37b

2.3 预测方程

对4种有机－无机复合材料胶结包膜肥料氮素释放量与培养时间进行回归拟合分析(表5)。

表5 氮素溶出率与溶出时间拟合方程

Table 5 Fitted regression equation of nitrogen dissolved rate and time

土壤 Soil	肥料 Fert.	拟合方程 Fitted regression equation	R^2
褐土 Drab soil	B2	$y = -0.0120x^2 + 1.8447x - 5.2110$	0.995
	PS	$y = -0.0271x^2 + 2.5749x - 5.4968$	0.998
	F2	$y = -0.0356x^2 + 3.0547x - 6.6092$	0.994
	F2F	$y = -0.0457x^2 + 3.5904x - 6.3562$	0.990
红壤 Red soil	B2	$y = -0.0258x^2 + 2.5834x - 5.6063$	0.997
	PS	$y = -0.041x^2 + 3.3734x - 6.6951$	0.989
	F2	$y = -0.0484x^2 + 3.7854x - 7.7621$	0.987
	F2F	$y = -0.0522x^2 + 3.9117x - 5.2291$	0.981
黑土 Black soil	B2	$y = -0.0109x^2 + 1.4868x - 3.8902$	0.994
	PS	$y = -0.0211x^2 + 1.9833x - 4.3824$	0.998
	F2	$y = -0.0281x^2 + 2.4114x - 5.6099$	0.992
	F2F	$y = -0.0358x^2 + 2.8061x - 4.5689$	0.980

从表5可看出，在三种土壤中，4种有机－无机复合材料胶结包膜肥料拟合方程都达到了显著水平，最佳的适合方程为一元二次方程。但同一种包膜肥料在三种土壤中及不同肥料在同一土壤中预测方程不同。说明有机－无机复合材料胶结包膜肥料氮素的释放受到肥料本身与土壤性质双重影响。

3 讨 论

由于三种土壤处于湿润状态，尿素释放出来以后，先期以酰胺态氮和铵态氮为主(一般情况下酰胺态氮在一周左右时间全部转化为铵态氮)，其后的活动主要分为两部分，一是与周围土壤的交换，二是淋溶下移过程中与土壤的交换，由于土壤定期进行水淋洗，所以二者过程中以后者活动为主。下面分别将这两个活动可能的交换过程分析一下。由于铵态氮为一价阳离子，在与土壤的吸附、固定和解析的过程中受到土壤质地、粘粒、CEC、有机无机胶体、粘土矿物类型和pH的影响，这些因素对铵态氮影响的同时可能影响到肥料对铵态氮的释放。有机胶体对阳离子的吸附量通常是无机胶体的几十至几百倍，有机胶体的含量与有机质的含量相关；CEC大，交换能力强，对铵离子的吸附强；粘粒一般带负电荷，但主要对三价铁和铝吸附，对铵离子的吸附很弱；粘土矿物中，由于层间结构的不同，对铵离子的吸附性强弱为2:1型的矿物大于1:1型的矿物，即蛭石＞蒙脱石、水化云母＞伊利石＞高岭石。因此，3种土壤对阳离子缓冲作用的大小为黑土＞褐土＞红壤。

万方数据

通过表 1 和上面的分析,可以得出,对铵离子吸附性大小为黑土 > 褐土 > 红壤,如果土壤对肥料本身释放铵离子有影响的话,那么黑土促进肥料释放铵离子能力最强,依次为褐土和红壤。因为包膜肥料施入到土壤后,由于其含量很高,膜内外浓度差很大,会逐渐释放大量的铵离子到溶液中,打破土壤固相与液相中离子的平衡,而黑土由于其缓冲作用大,对突如其来的大量的铵离子的吸附要大于褐土和红壤,将其吸附到土壤固相上,溶液中铵离子的浓度相对较小,有利于肥料中氮素的进一步释放;红壤缓冲作用小,大量铵离子释放到红壤中,溶液浓度会饱和的很快,溶液中铵离子浓度会很高,抑制了肥料中氮素的进一步释放。褐土的情况介于黑土和红壤之间,虽然 pH 高有利于铵的释放,但比起有机胶体、CEC 和粘土矿物的吸附来说,其作用要弱得多[7]。黑土溶液与固相的铵离子最终也会达到一个平衡,虽然红壤溶液中铵离子浓度会暂时高,但绝对量不一定比黑土的多,因为还有一个离子有效度的问题。在这里我们不作分析。此外,解析的过程要比吸附过程滞后得多。在向下淋溶过程中,铵离子与土壤的交换同上面分析的情况一样,最终的结果导致了氮素累积溶出率的大小为红壤 > 褐土 > 黑土。另外还需注意的一个问题是,由于土壤处于湿润状态,并且是定期淋溶,肥料与土壤的交换不一定完全,也就是说不一定黑土就比红壤更多促进肥料铵态氮的释放。由于土柱淋洗没法检测肥料本身在不同土壤里释放的快慢,因此,应该作土壤释放试验来进一步验证其释放规律。

参 考 文 献:

[1] 王红飞, 王正银. 缓/控释肥料的新进展及特性评价[J]. 广东化工, 2005, (8): 15, 86—90.

[2] 谢银旦, 杨相东, 曹一平, 等. 包膜控释肥料在土壤中养分释放特性的测试方法与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 491—497.

[3] 王向峰, 刘树庆, 宁国辉. 缓控释肥料的氮素利用率及控制效果研究[J]. 华北农学报, 2006, 21(增刊): 38—41.

[4] 肖　强. 有机—无机复合材料胶结包膜缓控释肥料的研制与评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 17—23.

[5] 许秀成, 李葫芦, 王好斌. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告: 第三报, 包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展(续)5. 以色列、印度、埃及等[J]. 磷肥与复肥, 2002, 17(1): 10—12.

[6] 杜昌文, 周健民, Avi Shaviv. 聚合物包膜肥料中钾素释放特征及其模拟[J]. 农业工程学报, 2006, (2): 18—21.

[7] 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 60—65.

Comparison of nitrogen dissolved rate for organic-inorganic complex materials cement and coated fertilizer in different soils

XIAO Qiang, WANG Jia-chen, ZUO Qiang, ZHANG Lin, LIU Bao-cun, ZHAO Tong-ke, ZOU Guo-yuan

(*Institute of Plant Nutrition & Resources, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing* 100097, *China*)

Abstract: Four kinds of organic-inorganic complex materials cement and coated fertilizer developed with a way of water as the solvent and coating were carried out to study the nitrogen dissolving rate under different ways of soil-column leaching. The results showed that when nitrogen accumulated dissolution rate was 50%, the time was 42 d, 36 d, 30 d and 18 ~ 24 d for B2, PS, F2 and F2F respectively. The curve of accumulated dissolution rate was the gentlest for B2, and then PS, F2 and F2F. The appearing peak time of nitrogen accumulated dissolution was the same for the same kind of cement and coated fertilizer. With B2 as an example, before peak time of nitrogen accumulated dissolution rate, instant dissolving rate in 2 ~ 13 d was the highest in red soil, and then drab soil and black soil. After the peak, nitrogen instant dissolving rate in 24 ~ 48 d was the highest in drab soil and the differences were not significant between red soil and black soil($P < 0.05$). The effects of the texture were little on nitrogen dissolving from cement and coated fertilizer but great on the leaching amount.

Keywords: water as the solvent and coating; organic-inorganic complex materials; cement; coated; soil type; leaching

万方数据