

竹炭包膜尿素氮释放特性的影响因素研究

纪锐琳, 朱义年, 佟小微, 张学洪

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘要:利用竹炭和高分子聚合物为包膜材料,制得不同包膜厚度的 BCCU₁ 和 BCCU₂ 两种竹炭包膜尿素;并以普通尿素作比较,对其养分缓释性能进行研究。结果表明,竹炭包膜尿素在各种土壤中的氮溶出率和氨挥发量均低于普通尿素。竹炭包膜尿素的氮溶出率随肥水比的增大和浸提温度的升高而显著增大,并且浸提温度越高,氮溶出率增加的幅度越大;浸提液中离子浓度越大,竹炭包膜尿素中氮溶出率越小;供试氮肥在沙质红壤土中的养分溶出率远高于其在石灰岩风化土中的溶出率。不同土壤类型对氮肥的氨挥发损失影响较大,供试氮肥在各种土壤中的氨累积挥发量大小顺序均为:沙质红壤土>石灰岩风化土>粘性红壤土;随土壤含水量的增加,普通尿素和竹炭包膜尿素的氨挥发量都递增,但后者氨挥发量受含水量增加的影响较前者小。

关键词: 包膜尿素;竹炭;氮素释放;氮素溶出;氨挥发

中图分类号:S145.5 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2008)02-0654-06

Experimental Research on Factors Influencing Nitrogen Release Characteristics of Bamboo-charcoal Coated Urea

Ji Rui-lin, Zhu Yi-nian, Tong Xiao-wei, Zhang Xue-hong

(Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Two kinds of bamboo-charcoal coated urea (BCCU₁ and BCCU₂) were made of normal urea by coating with bamboo-charcoal and organic polymer in different thickness, and their nitrogen slow-release characteristics was compared with normal urea. The results showed that urea coated with bamboo-charcoal presented slow-release property of a low nitrogen leaching rate and a low ammonia volatilization rate to a certain extent. Under the same leaching conditions, the nutrient release rate of BCCU₁ (coating rate 8.04%) was lower than that of BCCU₂ (coating rate 5.43%) i.e., the thicker the coating layer was, the slower its nutrient released. The nitrogen leaching rate of BCCU increased obviously as the increasing fertilizer/water ratio and the leaching temperature, but decreased as the increasing ion strength of the leaching solution. The nutrient leaching rate in sandy red soil was significantly higher than that in limestone soil. The ammonia volatilization of nitrogen fertilizers was considerably affected by soil types. The cumulative amount of ammonia volatilization abided by the following order: sandy red soil>limestone soil>clay red soil. The ammonia volatilization of both normal urea and BCCU increased as the increasing water content in soil.

Keywords: coated urea; bamboo-charcoal; nitrogen release; nitrogen leaching; ammonia volatilization

氮肥的低利用率一直是困扰我国农业生产的一个突出问题。同时,大部分氮肥经氨挥发、反硝化、淋溶等途径损失于环境中,使得生态环境受到了严重的影响,例如地下水污染、河流和湖泊水质的富营养化以及温室效应等。因此,如何兼顾氮肥施用的经济效

益和环境效益已成为我国农业生产中迫切需要解决的问题。

控/缓释肥是解决这一问题的良好措施,目前国内均在大发展氮肥的控/缓释技术^[1-5]。其中,包膜肥料是控/缓释肥料发展最快的一类肥料。包膜肥料一次施用可以满足作物整个生育期对氮素的需求,并可以减少由于分解、挥发和淋溶等造成的氮素损失,提高氮肥的利用率。本研究利用竹炭和高分子聚合物为包膜材料,根据涂膜量不等制得 BCCU₁ 和 BCCU₂ 两种竹炭包膜尿素,然后通过室内培养试验研究自制竹炭包膜尿素的缓释性能,以期为进一步研制高效、

收稿日期:2007-06-04

基金项目:广西“新世纪百千万人才工程”专项资金资助项目(2004217);
广西科学基金(桂科基 0575103);广西 2007 年研究生科技创新计划项目(2007105960830M23)

作者简介:纪锐琳(1980—),男,硕士研究生,研究方向为面源污染控制方法与技术。

通讯作者:朱义年 E-mail:zhuyinian@glte.edu.cn

廉价、工艺简单的包膜氮肥和减少氮肥污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 竹炭包膜尿素的制备

将聚丙烯树脂溶解于有机试剂中制成涂膜液,均匀涂覆于尿素颗粒表面,然后加入一定量的竹炭粉制成竹炭包膜尿素。试验中首先将尿素筛分,获得粒径为 3~4 mm 尿素颗粒,将其放入自制包膜机中,用电吹风预热 5 min 左右,然后用高压喷枪在尿素表面喷上适量的粘结剂溶液,用量以尿素颗粒间不互相粘结为宜,通入热风 3~5 min,然后把一定量的竹炭粉末(<0.075 mm)均匀地加入包膜机中,转动 10 min 左右再喷入粘结剂溶液,如此操作 3 次,即能将竹炭粉末包裹在颗粒尿素上,制成不同包膜厚度的竹炭包膜尿素。然后通过测定包膜尿素的含氮量,计算出竹炭包膜尿素的包膜率:包膜率(%)=100%-包膜尿素的含氮量/尿素的含氮量。

供试氮肥:尿素(U),含氮量 46%;自制两种竹炭包膜尿素(BCCU),含氮量分别为 42.3%(BCCU₁),包膜率 8.04%)和 43.5%(BCCU₂),包膜率 5.43%)。

1.2 试验土壤

试验所用土壤采自于桂林市穿山、尧山和桃花江仙人桥稻田土,土样风干后过 1.6 mm 筛备用。土壤样品的基本理化性质见表 1。桂林市红壤土主要由石英沙粒及高岭石、伊利石、绿泥石等次生粘土矿物组成,其中沙质红壤土中沙粒含量 65%,粘粒含量 35%;石灰岩风化土的沙粒含量 51%,粘粒含量 49%;粘性红壤土中沙粒含量 38%,粘粒含量 62%。

1.3 试验方法

1.3.1 浸提肥水比对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

准确称取肥料样品 2.5 g 放入 200 目尼龙网袋中,置于 150 mL 锥形瓶中,按肥水比 1:10、1:20、1:40 加入相应体积的超纯水,加塞密封,放入 30 ℃恒温培养箱内培养。分别在培养的第 6、12、24 h 轻摇锥形瓶使溶液混匀,吸取 5 mL 浸提液测定其全氮含量,然后

加入相同体积的超纯水。试验设 BCCU₁ 和 BCCU₂ 两个处理,每个处理重复 3 次。浸提液全氮含量的测定采用浓硫酸消煮碱解扩散法^[6]。

1.3.2 浸提温度对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

准确称取肥料样品 2.5 g 放入 200 目尼龙网袋中,置于 150 mL 锥形瓶中,然后加入 50 mL 超纯水,加塞密封,分别放入 20、30、40 ℃恒温培养箱内培养。在培养的第 6、12、24 h 轻摇锥形瓶使溶液混匀,吸取 5 mL 浸提液测定其全氮含量,然后加入相同体积的超纯水。试验设 BCCU₁ 和 BCCU₂ 两个处理,每个处理重复 3 次。浸提液全氮含量的测定方法同 1.3.1。

1.3.3 浸提液类型对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

供试溶液为水、土壤浸提液 1 (电导率为 111.6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)和土壤浸提液 2 (电导率为 178.6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)。土壤浸提液由取自桂林市郊的石灰岩风化土,按不同土/水比制得。准确称取肥料样品 2.5 g 放入 200 目尼龙网袋中,置于 150 mL 锥形瓶中,分别加入 50 mL 上述溶液,加塞密封,放入 30 ℃恒温培养箱内培养。分别在培养的第 6、12、24 h 轻摇锥形瓶使溶液混匀,吸取 5 mL 浸提液用以测定其全氮含量,然后加入相同体积的超纯水。试验设 BCCU₁ 和 BCCU₂ 两个处理,每个处理重复 3 次。浸提液全氮含量的测定方法同 1.3.1。

1.3.4 土壤类型对竹炭包膜尿素中氮挥发损失的影响

供试土壤为沙质红壤土、粘性红壤土和石灰岩风化土。每个土壤水平设表施尿素 U 和竹炭包膜尿素 BCCU₁ 二个处理,每个处理重复 3 次。采用“静态吸收法”捕获氨气^[7]。试验氮肥设计用量为在每公斤风干土中施 450 mg N。分别在 1 L 大口瓶中装上述 3 种土壤 500 g,加入 150 mL 超纯水,使土壤含水量达到饱和(含水量为 30%),待水分充分渗透后将氮肥施于土壤表面;再在大口瓶内放置一个 25 mL 的小烧杯,小烧杯内盛 10 mL 2%硼酸混合指示剂,密封后放入 30 ℃恒温箱中连续培养。分别于试验的 2、3、4、6、8、12、16 和 22 d 取出烧杯,用盐酸滴定法测定吸收液中的氮含量,然后更换烧杯中的硼酸吸收液并再次放入大口

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of test soil

采样地点	土壤类型	pH 值(土:水=1.0:2.5)	有机质/g·kg ⁻¹	全量/g·kg ⁻¹		速效/mg·kg ⁻¹	
				N	P	N	P
桂林穿山	沙质红壤土	6.85	15.24	1.45	0.88	102.86	20.62
桂林尧山	粘性红壤土	6.28	14.50	1.07	0.47	98.33	6.98
桂林桃花江	石灰岩风化土	5.49	25.10	1.97	0.72	147.01	18.09

瓶内。氮的挥发量按下式计算: $N = MV \times 14$ 。式中 N 为氮挥发量 ($\text{mg} \cdot \text{瓶}^{-1}$); M 为标准酸的摩尔浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); V 为滴定时标准酸的体积 (mL)。

1.3.5 土壤含水量对竹炭包膜尿素中氮挥发损失的影响

试验设 20%、30% 和 40% 3 个土壤含水量水平。每个水平设施 U 和 BCCU_2 2 个处理, 每个处理重复 3 次。氮肥设计用量为每公斤土壤中施 600 mg N, 试验温度为 30 ℃, 供试土壤为石灰岩风化土。试验步骤和测定方法与 1.3.4 中相同。

1.3.6 土壤类型对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

供试土壤为沙质红壤土和石灰岩风化土。每种土壤设施 U、 BCCU_1 和 BCCU_2 3 个处理, 每个处理重复 3 次。在事先垫有两层 135 目滤布, 并且滤布上放入 50 g 石英沙的淋溶杯 (上口直径 10 cm, 下口直径 8 cm, 高 12 cm 的圆形塑料杯, 底部有 3 个呈三角形分布的小孔) 中按 $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 容重先装入风干土壤 250 g, 再在其上按同样紧实度装入 250 g 土肥混合物, 土壤表面用 135 目滤布覆盖, 上铺 50 g 石英砂, 防止加水时扰乱土层。肥料设计用量为在每公斤土壤中施 600 mg N。第一次先加入 200 mL 水使土壤水分接近饱和, 培养 1 d 后再将 100 mL 水一次加入淋溶杯中, 收集 24 h 淋溶液, 淋滤液全氮含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定^[8]。每 3 d 淋溶一次, 共淋溶 10 次。

2 结果与讨论

2.1 浸提肥水比对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

不同浸提肥水比对竹炭包膜尿素的养分溶出率有着显著的影响 (图 1)。在相同培养时间下, 两种竹炭包膜尿素 (BCCU_1 和 BCCU_2) 的养分溶出率均随着肥水比的增大而增大。根据包膜肥料养分释放机理^[9,10], 包膜肥料养分释放过程实际上就是膜内肥料养分通过包膜向膜外扩散的过程, 其养分扩散速率与包膜内外养分浓度差成正比例关系^[11]。因此, 肥水比越大, 意味着溶出同样质量的肥料, 外部溶液浓度越小, 膜内养分扩散速率越大, 其养分溶出率越高。两种包膜尿素之间比较, 在相同浸提肥水比和时间条件下, BCCU_1 (包膜率 8.04%) 的养分溶出率比 BCCU_2 (包膜率 5.43%) 降低幅度达 9%~13%。

2.2 浸提温度对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

温度是影响竹炭包膜尿素中养分释放速率的主要因素之一。两种竹炭包膜尿素 (BCCU_1 和 BCCU_2) 中氮素溶出率均随着温度的升高而增大; 并且浸提温度

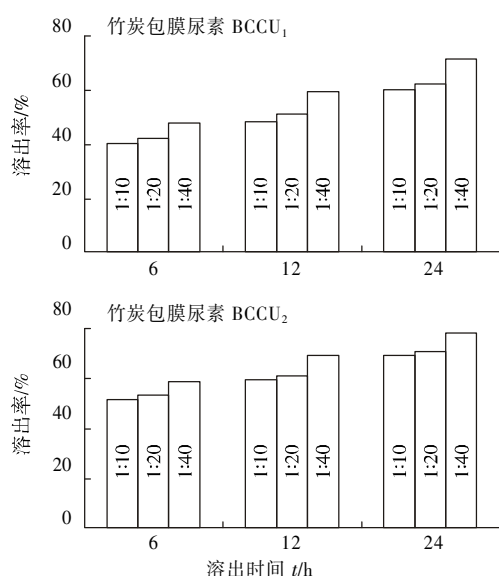


图 1 不同肥水比对竹炭包膜尿素中氮素溶出率的影响

Figure 1 Effect of the fertilizer/water ratio on N leaching rate of bamboo-charcoal coated urea

越高, 氮素溶出率增加的幅度越大 (图 2)。温度对竹炭包膜尿素中养分释放产生显著影响的主要原因有两个, 其一是温度影响包膜材料的性质, 包裹尿素所用的有机粘结剂随着温度的升高, 其分子结构发生变化, 微孔增大, 扩散阻力减少; 二是温度影响尿素的溶解和扩散作用, 尿素的溶解速度随着温度上升呈指数增加, 穿透膜的尿素浓度梯度越高, 扩散速率也随之增加^[12]。在相同浸提温度和时间条件下, 竹炭包膜尿素 BCCU_1 (包膜率 8.04%) 的养分溶出率均低于竹炭包膜尿素 BCCU_2 (包膜率 5.43%) 的养分溶出率 6%~10%。

2.3 浸提液类型对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

浸提液的电导率越大, 即离子浓度越大, 竹炭包膜尿素中养分溶出率越小 (图 3)。2 种竹炭包膜尿素中氮素的溶出率顺序均为: 纯水 > 土壤浸提液 1 (电导率为 $111.6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) > 土壤浸提液 2 (电导率为 $178.6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)。在相同浸提液和时间条件下, 竹炭包膜尿素 BCCU_1 (包膜率 8.04%) 的养分溶出率均低于竹炭包膜尿素 BCCU_2 (包膜率 5.43%) 的养分溶出率 1%~5%。

2.4 土壤类型对竹炭包膜尿素中氮挥发损失影响

竹炭包膜尿素在 3 种土壤中的氮挥发损失量均低于普通尿素, 如在沙质红壤土、石灰岩风化土和粘性红壤土中, 竹炭包膜尿素 BCCU_1 22 d 氮累积挥发量分别比普通尿素 U 的氮累积挥发量降低 25%、17% 和 28% (图 4)。

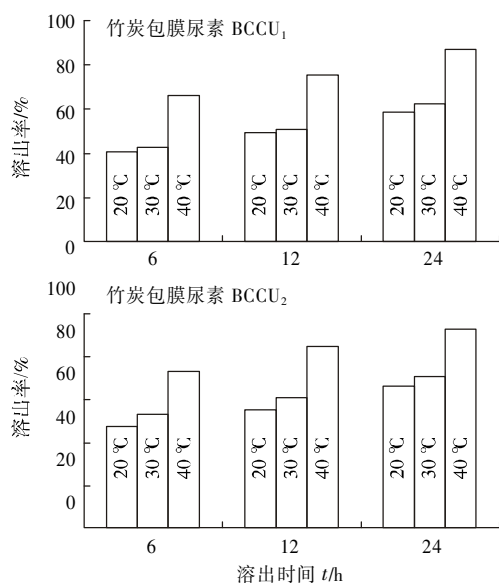


图 2 浸提温度对竹炭包膜尿素中氮素溶出率的影响

Figure 2 Effect of temperature on N leaching rate of bamboo-charcoal coated urea

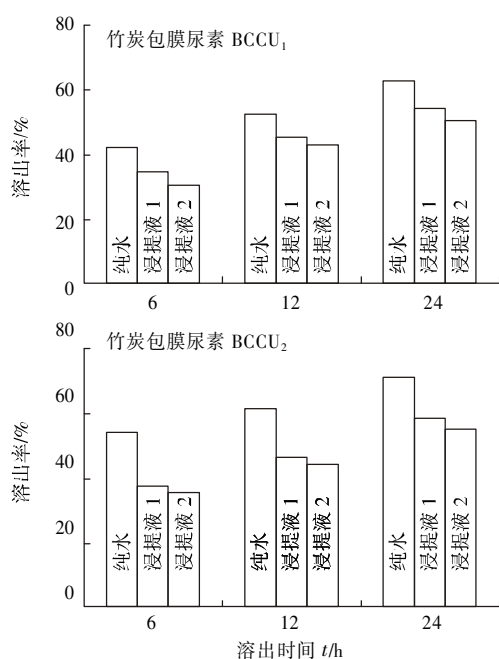


图 3 浸提液类型对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

Figure 3 Effect of leaching solutions on N leaching rate of bamboo-charcoal coated urea

由图 4 可以看出,供试氮肥在各种土壤中的氨累积挥发量大小顺序均为:沙质红壤土(U 7.37 mg, BCCU₁ 5.49 mg) > 石灰岩风化土 (U 2.7 mg, BCCU₁ 2.24 mg) > 粘性红壤土(U 1.42 mg, BCCU₁ 1.02 mg),说明了不同土壤类型对氮肥的氨挥发损失影响较大;在同一土壤类型下,竹炭包膜尿素的氨挥发损失量低于普通尿素。影响氨挥发的土壤特性主要有 pH、有机质和土壤粘粒,其中前两者与氨挥发呈正相关,后者呈负相

关^[13]。相关研究表明,土壤 pH 对尿素的水解影响较大,在 pH 5.5~9.5 范围内,尿素水解随着 pH 升高而增强^[14],氨挥发的潜力增大。土壤有机质能阻碍 NH₄⁺ 进入粘土矿物固定位置或防止矿物晶层间距的收缩,因而能减少铵的晶穴固定^[15],增加 NH₄⁺ 的有效性,增强氨的挥发性;另一方面,有机质含量高,脲酶活性强,尿素分解越快^[16],氨挥发的潜力越大。土壤粘粒含量影响土壤的透气性和对 NH₃-N 和 NH₄⁺-N 的吸附特性(粘粒含量高的土壤对 NH₃-N 和 NH₄⁺-N 吸附特性高于粘粒含量低的土壤),因此粗质地的土壤比细质地的土壤氨挥发强度大。在试验中,沙质红壤土由于其 pH 最高,并且对 NH₃-N 和 NH₄⁺-N 的吸持能力最差;因此其氨挥发量最大。粘性红壤土的有机质含量最低,并且对 NH₃-N 和 NH₄⁺-N 的吸持能力最强,故其氨挥发量最小。

2.5 土壤含水量对竹炭包膜尿素中氨挥发损失影响

土壤水分条件是影响氮肥氨挥发的一个重要因素,氮肥的溶解、尿素的水解都需要水的存在。当土壤含水量从 20% 上升到 30% 时,尿素 U 和竹炭包膜尿素 BCCU₂ 的氨挥发量分别增加了 20.53% 和 12.22%;当土壤含水量上升到 40% 时,U 和 BCCU₂ 的氨挥发量分别比含水量为 20% 时增加了 113.16% 和 15.55% (表 2)。可见,随着土壤含水量的增加,U 和 BCCU₂ 的氨挥发量都递增,但后者氨挥发量受含水量上升的影

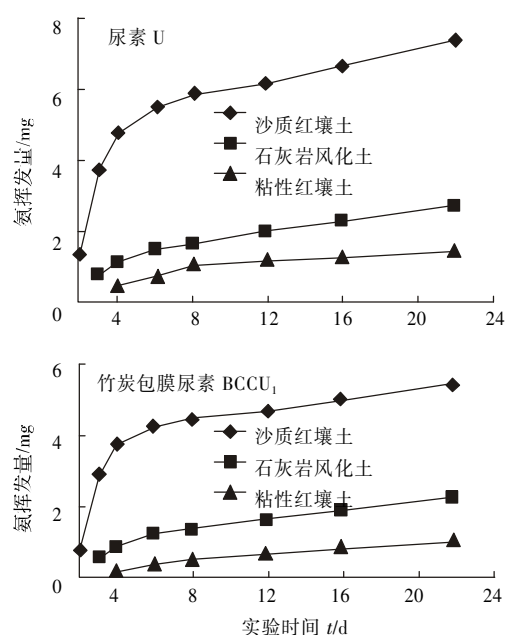


图 4 两种氮肥在不同土壤中的氨挥发

Figure 4 Ammonia volatilization dynamics of two N fertilizers in different soils

响较前者小。当土壤含水量达到饱和状态后,含水量上升对竹炭包膜尿素氮挥发量的影响较小。土壤含水量从 30% 上升到 40% 时, BCCU_2 的氮挥发量仅增加了 3.99%。对于尿素而言,土壤含水量的升高,使得其水解速率加快,氮挥发量增加幅度较大;而对于竹炭包膜尿素来说,由于其包膜材料具有疏水性,可有效地阻碍膜内尿素溶出过程所需水分的运移补充,在高含水量土壤中仍具有较好的缓释效果,使得其氮挥发量随土壤含水量上升而递增的幅度远低于尿素。当土壤含水量达到饱和以上后,由于土壤水蒸气压力变化不显著,此时土壤含水量上升对竹炭包膜尿素养分的释放影响不大,也就使得其氮挥发量随土壤含水量上升递增不明显^[16]。

随着土壤含水量的升高,两种氮肥的最大氮挥发速率递增,并且出现峰值的时间提前(表 2)。U 在不同含水量土壤中的最大氮挥发速率顺序为: $1.99 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(40\%) > 1.54 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(30\%) > 0.82 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(20\%)$; BCCU_2 也有相同的顺序: $1.34 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(40\%) > 0.84 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(30\%) > 0.55 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}(20\%)$ 。此外,随着土壤含水量的上升,U 和 BCCU_2 出现氮挥发损失的时间较早。

2.6 土壤类型对竹炭包膜尿素中氮素溶出的影响

竹炭包膜尿素在土壤中的溶出率均低于普通尿素,并且 BCCU_1 (包膜率 8.04%) 在土壤中的溶出率低于 BCCU_2 (包膜率 5.43%)。同时,供试氮肥在沙质红壤土中的养分溶出率远高于其在石灰岩风化土中的溶出率(图 5)。尿素、竹炭包膜尿素 BCCU_1 和 BCCU_2 在沙质红壤土中 28 d 的氮素累积溶出率分别为石灰岩风化土中的 1.52 倍、1.7 倍和 1.65 倍。在第一次淋

溶时,沙质红壤土与尿素分子或 NH_4^+ 未充分发生吸附反应,致使供试氮肥的初次溶出率较高;随后,供试氮肥在沙质红壤土中的氮素溶出率呈下降趋势。从第 4 次淋洗起,供试氮肥在石灰岩风化土的氮素溶出率超过了其在沙质红壤土中的溶出率,这种趋势一直持续到淋溶试验结束。可见,氮肥在不同土壤介质中具有不同的溶出特性,造成这一差异的原因主要是土壤质地和土壤粘粒含量的不同。质地的差异主要导致淋溶水在介质中的停滞时间不同,从而造成氮素淋出率的差异。本试验中,从淋溶加水起到淋溶滴水基本结束,石灰岩风化土处理需要 5~6 h,而沙质红壤土处理仅需 30~60 min,相差 6~12 倍。淋溶水在沙质红壤土中的停滞时间较短,一部分溶解于淋溶水中的氮素还未来得及与土壤胶体接触就被淋洗出土柱。此外,石灰岩风化土中粘粒含量较沙质红壤土高,其土壤胶体吸附的 NH_4^+ 量较沙质红壤土多,因此氮肥在该土壤中的养分溶出率较沙质红壤土低。

3 结论

(1) 竹炭包膜尿素在土壤中的养分溶出率均低于普通尿素,并且在相同浸提条件下,竹炭包膜尿素 BCCU_1 (包膜率 8.04%) 的养分溶出率均低于竹炭包膜尿素 BCCU_2 (包膜率 5.43%) 的养分溶出率,即随包膜率的增大,竹炭包膜尿素在土壤中的养分溶出率逐渐降低;同时其在沙质红壤土中的溶出率高于其在石灰岩风化土中的溶出率。

(2) 竹炭包膜尿素的氮溶出率随肥水比的增大和浸提温度的升高而显著增大,并且浸提温度越高,氮

表 2 土壤含水量对氮挥发的影响 ($\text{mg} \cdot \text{瓶}^{-1}$)

Table 2 Effect of soil water content on ammonia volatilization ($\text{mg} \cdot \text{Bottle}^{-1}$)

试验时间/d	土壤含水量					
	20%		30%		40%	
	U	BCCU_2	U	BCCU_2	U	BCCU_2
2	tr	tr	tr	tr	0.79 ± 0.11	tr
3	tr	tr	1.54 ± 0.16	0.84 ± 0.00	1.99 ± 0.40	1.34 ± 0.28
4	0.82 ± 0.04	0.40 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.54 ± 0.12	0.86 ± 0.07	0.42 ± 0.05
6	1.09 ± 0.22	1.11 ± 0.06	1.40 ± 0.02	0.83 ± 0.17	1.23 ± 0.00	0.56 ± 0.04
8	0.59 ± 0.02	0.55 ± 0.01	0.44 ± 0.05	0.45 ± 0.10	0.77 ± 0.07	0.36 ± 0.05
12	0.65 ± 0.04	0.75 ± 0.04	0.23 ± 0.04	0.49 ± 0.09	1.08 ± 0.04	0.54 ± 0.01
16	0.32 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.66 ± 0.10	0.31 ± 0.03
22	0.17 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.18 ± 0.07	0.16 ± 0.01	0.35 ± 0.05	0.14 ± 0.01
28	0.16 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.29 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.37 ± 0.12	0.12 ± 0.02
累计总量	3.80 ± 0.16	3.28 ± 0.36	4.56 ± 0.07	3.68 ± 0.10	8.10 ± 0.97	3.79 ± 0.36
占施氮量/%	1.27	1.09	1.52	1.23	2.70	1.26

注:tr 表示吸收液仍呈红色,氮挥发微量,未检出。

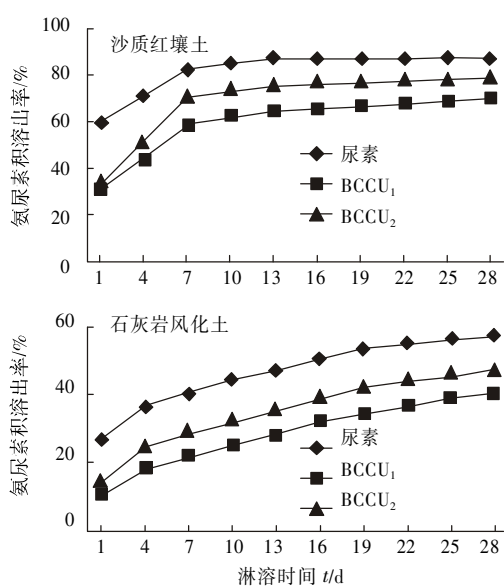


图5 供试氮肥在不同土壤中的氮素累积溶出率曲线
Figure 5 Accumulated nitrogen leaching rate of the tested N fertilizers in different soils

溶出率增加的幅度越大;浸提液离子浓度的大小对竹炭包膜尿素的养分溶出率有一定的影响,浸提液离子浓度越大,竹炭包膜尿素的养分溶出率越小;供试氮肥在沙质红壤土中的养分溶出率远高于其在石灰岩风化土中的溶出率。

(3)竹炭包膜尿素在土壤中的氨挥发损失量均低于普通尿素;土壤类型对氮肥的氨挥发损失影响较大,供试氮肥在各种土壤中的氨累积挥发量大小顺序均为:沙质红壤土>石灰岩风化土>粘性红壤土。

(4)土壤含水量对氮肥氨挥发影响较大。随土壤含水量的增加,普通尿素和竹炭包膜尿素的氨挥发量都递增,但后者氨挥发量受含水量增加的影响较前者小。但是,当土壤含水量达到饱和后,土壤含水量的上升对竹炭包膜尿素的氨挥发影响很小。

参考文献:

- [1] Valkanas G N. Controlled release coating from wax and rosin particle for fertilizer[P]. US 5137563-A, 1992-08-11. CA 122: 132147.
- [2] Hovens I A P, Jongboom R O J, Stuit P I. Composition for the controlled release of active substances[P]. WO 9930691-A2, 1999-06-24. CA 131: 49488.
- [3] Zhang H, Kim Y, Dutta P K. Controlled release of paraquat from surface-modified zeolite[J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2006, 88(1-3): 312-318.
- [4] 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[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(2): 185-188.

Journal of Agro-environmental Science, 2003, 22(2): 185-188.

- [5] 徐和昌, 崔 镐, 李秀君. 脲醛树脂包膜缓释氮肥释放速率的测定[J]. *石油化工*, 1994, 23(12): 816-819.
- XU He-chang, CUI Di, LI Xiu-jun. Determination of releasing rate of nitrogen fertilizer coated with urea-formaldehyde resin[J] (In Chinese). *Petrochemical Technology*, 1994, 23(12): 816-819.
- [6] 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[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- Committee of agricultural chemistry of soil science society of china. Conventional analysis methods of soil agricultural chemistry[M] (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983.
- [7] 凌 莉, 李世清, 李生秀. 石灰性土壤氨挥发损失的研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(6): 119-122.
- LING Li, LI Shi-qing, LI Sheng-xiu. Study on ammonia volatilization from calcareous soil[J] (In Chinese). *Journal of Soil Water Conservation*, 1999, 5(6): 119-122.
- [8] GB/T11894-1989. 水质总氮的测定: 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- GB/T11894-1989. Water quality-Determination of total nitrogen-Alkaline potassium persulfate digestion-UV spectrophotometric method[S] (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [9] Kochba M, Cambash S, Avnimelech Y. Studies on Slow-release fertilizers: I. Effect of temperature, soil moisture and water vapor pressure[J]. *Soil Sci*, 1990, 149: 339-343.
- [10] Gambash S, Kochba M, Avnimelech Y. Studies on Slow-release fertilizers: II. A method for evaluation of nutrient release rate from slow-releasing fertilizers[J]. *Soil Sci*, 1990, 150(1): 446-450.
- [11] Zhang M, Nyborg M, Ryan J T. Determining permeability of coating of polymer-coated urea[J]. *Fert Res*, 1994, 38: 47-51.
- [12] 熊又升. 土壤中包膜肥料氮磷释放运移及作物吸收利用[M]. 武汉: 华中农业大学, 2001.
- XIONG You-sheng. Release transportation of N and P from coated fertilizers in soils and absorption utilization by crop [M] (In Chinese). Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001.
- [13] Reynolds C M, Wolf D C. Influence of urease activity and soil properties on ammonia volatilization from urea[J]. *Soil Sci*, 1987, 143: 418-425.
- [14] 王秀君, 罗胜国. 尿素肥料的影响因素及其施用技术[J]. *土壤学进展*, 1995, 23(1): 21-24.
- WANG Xiu-jun, LUO Sheng-guo. The influence factor of urea fertilizers and its application technique[J] (In Chinese). *Progress in Agrology*, 1995, 23(1): 21-24.
- [15] 同延安, 张文孝, 韩稳社, 等. 不同氮肥种类在壤土及黄锦土中的转化[J]. *土壤通报*, 1994, 25(3): 107-108.
- TONG Yan-an, ZHANG Wen-xiao, HAN Wenshe, et al. The transforming of different nitrogen fertilizers in loessial soils [J] (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1994, 25(3): 107-108.
- [16] 叶雪珠, 马军伟, 何念祖, 等. 新型包膜尿素的氮释放动态研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2000, 26(1): 114-118.
- YE Xue-zhu, MA Jun-wei, HE Nian-zu, et al. Studies on nitrogen release dynamics of new coated ureas[J] (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci)*, 2000, 26(1): 114-118.