植物营养与肥料学报 2001,7(2):153～158
Plant Nutrition and Fertilizer Science

间歇淋洗干湿交替条件下氮肥的氮行为研究

熊又升[1,2],陈明亮[1],喻永熹[2],邓波儿[1]
(1 华中农业大学资源环境与农业化学系 湖北武汉 430070;
2 湖北省农业科学院土壤肥料研究所,湖北武汉 430064)

摘要:采用土柱淋洗试验方法,对包膜尿素、尿素和硝酸铵在石碴土和粘壤质石灰性土壤中氮的行为进行了评价。结果表明,包膜尿素、尿素和硝酸铵的回收总氮量(包括淋洗溶液中各种形态氮,土壤吸附的肥料氮和残余的肥料氮)分别为施入总氮量的90.5%、74.2%、93.5%和91.5%、58.5%、91.1%。在1750mL淋洗溶液中NO_3^--N分别占淋洗溶液中总氮量的90%以上。在7次淋洗干湿交替之后,土壤吸附的肥料氮(NH_4^+-N和NO_3^--N)均不超过施氮总量的2.1%;包膜尿素有62.7%和70.8%的氮以颗粒肥料存在于土壤中。3种氮肥中包膜尿素较尿素和硝酸铵在土壤中释放持续的时间显著延长,尿素的氨挥发损失较高,硝酸铵淋失较快。

关键词:氮肥;石灰性土壤;转化;淋洗
中图分类号:S152.7;S143.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2001)02-0153-06

化学氮肥特别是包膜尿素在土壤中的形态转化及迁移对于土壤氮素供应和作物对氮的有效吸收利用有着重要的影响[1]。研究不同氮肥品种在石灰性土壤中氮的形态转化和迁移行为可为合理施用氮肥和提高氮素利用率提供参考。为了探讨湖北省丹江口库区—郧县石灰岩发育土壤上作物施肥的有效措施,针对当地大面积土壤养分贫乏,质地粗砾、保水保肥性能差等特点,采用土柱淋洗的方法开展了土壤水分运动特性和包膜尿素、尿素和硝酸铵在土壤中氮的形态转化和迁移规律的研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料和设计

土壤样本采自湖北省郧县杨溪铺镇石灰岩发育的石碴土和粘壤质石灰土耕作层(0～15cm),前作分别是小麦和玉米。土样经风干后供作土柱土壤。其基本理化性状见表1。供试肥料:高分子聚合物包膜尿素(简称包膜尿素)含N 39.8%;尿素含N 46%,硝酸铵含N 35%。

用PVC管制作土柱[2],内径7.0cm,高50cm,装土重量1.70kg。石碴土装土高度28cm,粘壤质石灰土装土高度35cm。试验设4个处理:1)对照,不施肥(CK);2)硝酸铵(AN);3)尿素(U);4)包膜尿素(CU)。每个土柱施N 266.7mg(考虑到包膜尿素养分释放速度慢,包膜尿素施N 533.5mg,便于观察土柱

收稿日期:2000-05-25
基金项目:水利部长江水利委员会重点研究课题;湖北省自然科学基金项目(99J114)资助。
作者简介:熊又升(1963—),男,湖北省鄂州市人,湖北省农业科学院土壤肥料研究所副研究员,现为华中农业大学博士研究生,主要从事土壤和复合肥料及新型肥料的开发研究等工作。

中养分变化情况),3次重复。按容重1.58g/cm³(石渣土),1.26g/cm³(粘壤质石灰土)装好土柱,将肥料施于土柱表层下1cm处,表面放一层滤纸,以防止水分蒸发和土壤层次被水打乱。首先用蒸馏水使土柱中土壤饱和平衡24h,在室内温度30~35℃下每间隔一定时间用250mL蒸馏水淋洗,共7次,前4次间隔4d,后3次间隔5d,分别收集每次淋洗的滤液,测定NO_3^--N、NH_4^+-N和尿素态氮浓度。土壤处在干湿交替条件下的时间为31d,7次淋洗共用水1750mL,相当于455mm降雨量,为该地区降雨量的55%。第7次淋洗后,对土柱分层取样,分析其含N量。施用包膜尿素的处理把未释放的完好包膜尿素颗粒分离出来。石碴土分0~8、8~18、18~28cm 3层,粘壤质石灰土分0~5、5~15、15~25、和25~35cm 4层取样,分别测定其土壤含水量和用2mol/L $CaCl_2$溶液提取土壤吸附N,以不施肥处理土壤作为对照,计算出土壤NH_4^+-N和NO_3^--N含量。

表1 土壤基本理化性状

Table 1 Basic physico-chemical properties of soils

土壤 Soils	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot.N (g/kg)	碱解氮 Alka.N (mg/kg)	有效磷 Avai.P (mg/kg)	有效钾 Avai.K (mg/kg)	pH值
粘壤质石灰土 (土石比1:0)	16.05	0.465	35.39	3.4	208.80	7.6
石碴土 (土石比1:1.2)	2.84	0.246	12.84	0.25	52.28	7.8

1.2 分析测定方法

土壤有机质用重铬酸钾容量法-外加热法;全N用半微量开氏法;碱解N和NH_4^+-N用碱解扩散法;NO_3^--N用酚二磺酸比色法;尿素态N用硫酸转化后,碱解扩散法[3];有效P用0.5mol/L $NaHCO_3$浸提,钼锑抗比色法;有效K用1mol/L NH_4OAc浸提,火焰光度法。

2 结果与分析

2.1 肥料氮的释放、形态转化及氮的回收量

由于理化特性和土壤条件的差异,3种氮肥在土壤中的释放和形态转化方面也有所不同。包膜尿素经7次干湿交替淋洗后,尚有62.7%~70.8%的N仍以颗粒肥料在土壤中存在[4,5];而尿素和硝酸铵则大部分转化为NO_3^--N和被淋失。3种氮肥在石碴土和粘壤质石灰土中经干湿交替淋洗后,N总回收量(用差减法计算,下同)分别占总施N量的90.5%、74.2%、93.5%和91.5%、58.5%、91.1%;在土柱土壤中吸附的肥料N分别占总施N量的1.0%、1.1%、0.7%和1.6%、2.1%、0.9%(表2)。表2看出,包膜尿素和硝酸铵在石碴土和粘壤质石灰土中N转化的主要形态虽然都是NO_3^--N,但前者主要仍以颗粒肥料存在于土壤中,而后者大部分以NO_3^--N的形态存在,迁移性较强,说明包膜尿素在土壤中养分持续稳定的时间较长,而硝酸铵在土壤中养分的稳定性较差。尿素N的回收率相对较低,在石灰性土壤中水解转化后可能发生较多N挥发损失。

2.2 肥料氮在土壤中的迁移

包膜尿素、尿素和硝酸铵经7次淋洗后,在石碴土和粘壤质石灰土中,N累积量分别占总施N量的26.8%、73.0%、92.8%和19.1%、56.4%、90.2%(表2)。包膜尿素较尿素、硝

酸铵淋洗的 N 量明显降低，这是包膜减缓 N 释放的效果[1,6]。表 2 还看出，包膜尿素处理的淋洗液中 3 种形态氮量明显低于尿素处理；硝酸铵处理淋洗液中 NO_3^--N 量显著高于包膜尿素和尿素。包膜尿素、尿素和硝酸铵在石碴土上淋洗液养分总量中，NO_3^--N 分别占施氮总量的 26.5%、69.7% 和 92.4%；在粘壤质石灰土上，分别占施氮总量的 18.9%、53.4% 和 89.8%。

表 2　在干湿交替淋洗条件下三种肥料氮在土柱和淋洗液中的变化

Table 2　Changes of three kinds fertilizer N in soil column and leacheate under alternate leaching and drying conditions

土壤	处理	淋洗液中 In leacheate				土柱中 In soil column			残存量	回收量
Soil	Treat.	NH_4^+-N	NO_3^--N	U-N	总量	NH_4^+-N	NO_3^--N	总量	Resid.	Recov.
石渣土	CU	0.1	141.6	1.2	142.9	1.3	4.2	5.5	334.3	482.7
		(0.0)	(26.5)	(0.2)	(26.8)	(0.2)	(0.8)	(1.0)	(62.7)	(90.5)
	U	1.9	185.8	7.1	194.8	0.0	3.0	3.0	–	197.8
		(0.7)	(69.7)	(2.7)	(73.0)	(0.0)	(1.1)	(1.1)		(74.2)
	NA	0.9	246.5	–	247.4	0.8	1.0	1.8	–	249.2
		(0.3)	(92.4)	(–)	(92.8)	(0.3)	(0.4)	(0.7)		(93.5)
$LSD_{0.05}$		0.39	13.96	0.52	14.01	0.33	0.47	0.56	–	14.18
粘壤	CU	0.1	100.9	0.9	101.9	2.9	5.4	8.3	377.8	488.0
质石		(0.0)	(18.9)	(0.2)	(19.1)	(0.5)	(1.0)	(1.6)	(70.8)	(91.5)
灰土	U	1.2	142.3	6.9	150.4	2.0	3.5	5.5	–	155.9
		(0.4)	(53.4)	(2.6)	(56.4)	(0.7)	(1.3)	(2.1)		(58.5)
	NA	1.0	239.5	–	240.5	1.1	1.3	2.4	–	242.9
		(0.4)	(89.8)	(–)	(90.2)	(0.4)	(0.5)	(0.9)		(91.1)
$LSD_{0.05}$		0.33	18.10	0.90	12.48	0.11	0.31	0.33	–	12.13

注：U-N 为尿素态 N。括号内数字指不同形态氮占施氮总量的百分比。回收量包括淋洗溶液氮 + 土壤吸附肥料氮 + 残留肥料氮。

Note: U-N means urea-N. Each form N % of total N applied in brackets. Recovery included leacheate + fertilizer N adsorbed by soil + residual fertilizer N.

在 7 次淋洗过程中，包膜尿素处理淋洗液中 N 浓度相对较稳定；尿素处理淋洗液中 N 浓度较包膜尿素有些波动而不稳定，而硝酸铵处理淋洗液中 N 浓度在开始 2 次分别高达 23.5、23.2 和 22.9、21.9 mmol/L，第 3 次之后急剧下降，N 浓度变化大（图 1、2），这与尿素土壤中水解作用速度变化和硝酸铵 N 成分中有 50% 是 NO_3^--N 等有关[7~9]。不同质地石灰性土壤对化肥 N 的形态转化和运移行为有不同程度的影响，这与土壤的机械组成，特别是与土壤饱和导水率的差异有关[7]。有关石碴土和粘壤质石灰土水分运动特征研究表明[10]，由于石碴土的土壤砾石含量高而粘壤质石灰土质地粘重且不含砾石，土壤有效孔隙度和土壤饱和导水率前者明显高于后者，当土壤含水量较高时，前者的土壤导水率明显高于后者，这将会促进土壤溶液中养分的运移和转化。本试验土柱中土壤水分基本处于饱和状态，因此粘壤质石灰土中土壤溶液 N 运移速度相对较慢，在土壤中滞留时间相对较长，这也可能是粘壤质石灰土壤中尿素和硝酸铵处理 N 的总回收率低于石碴土的主要原因[11]。

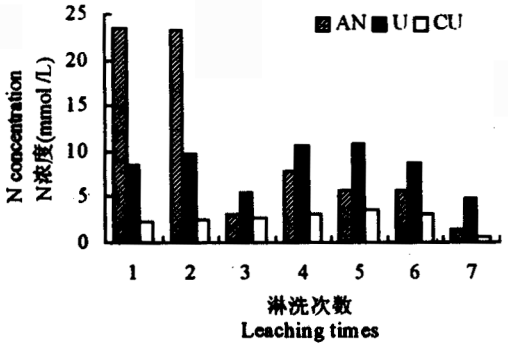

图1 石渣土淋洗液N浓度与淋洗次数的关系

Fig.1 Relationship between N concentration of leacheate and leaching times in gravel calcareous soil

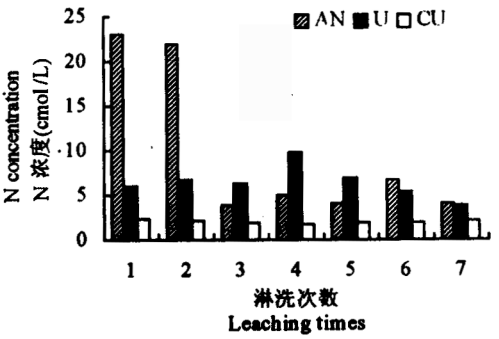

图2 粘壤质石灰土淋洗液N浓度与淋洗次数的关系

Fig.2 Relationship between N concentration of leacheate and leaching times in clay-loamy calcareous

2.3 土柱中不同层次土壤的养分形态和含量分布

7次干湿交替淋洗之后,不同施肥处理土柱中吸附的肥料N(差减法)结果看出,施用包膜尿素、尿素和硝酸铵石碴土吸附的肥料N(每个土柱土壤N量)分别是5.5、3.0和1.8mg;粘壤质石灰土分别是8.3、5.5和2.4mg。其中,包膜尿素、尿素和硝酸铵在石碴土和粘壤质石灰土中土壤NH_4^+-N量分别是1.3、0、0.8mg和2.9、2.0、1.1mg;而土壤NO_3^--N分别是4.2、3.0、1.0mg和5.4、3.5、1.3mg(表2)。说明经过施肥淋洗后,2种土壤含氮量是包膜尿素处理>尿素处理>硝酸铵处理,且主要形态是NO_3^--N。从不同层次中N的分布看,3种肥料均表现为NO_3^--N高于NH_4^+-N,下层土壤高于上层,粘壤质石灰土高于石碴土(表3),这可能与N在土壤中的移动性大,特别是NO_3^--N随着淋洗溶液向下移动快,并少量被土壤持留[7,12]和与土壤中粘粒含量有关系。

3 讨 论

氮肥在石灰性土壤中的氮行为受供试条件和氮肥性质等因素的影响。本研究的3种氮肥在2种质地石灰性土壤中氮的释放、形态转化和迁移行为方面表现出一定共性和不同程度的差异。在供试条件下所获得的N回收率高低不能直接作为作物利用氮肥效果的衡量依据,应该考虑肥料成分在土壤中的稳定性。在研究中硝酸铵的N回收率达90%以上,2种土壤淋洗500mL溶液中的NO_3^--N占NO_3^--N淋洗总量的65%以上,大部分硝酸铵以NO_3^--N的形式从土壤中较快地迁移出来,这与硝酸铵的组成成分和易溶于水有直接关系。尿素在土壤中的形态转化和氮挥发报道较多,一般研究认为尿素在石灰性土壤中氨挥发损失较高,有的报道达30%~40%[13]。尿素施入土壤后,尿素被脲酶水解为不稳定态的氨基甲酸铵,很容易分解为氨和二氧化碳,在土壤pH 7以上游离氨浓度增加,使尿素附近土壤pH超过8,所以尿素的氨挥发损失高,从而出现尿素的N回收率为58.5%~74.2%, 较硝

表 3　经 7 次淋洗后土柱中各层次土壤的铵态氮和硝态氮含量

Table 3 NH_4^+-N and NO_3^--N contents in the soil columns with various depths after 7 times leaching

土壤 Soil	N 形态 N forms	层次(cm) Depth	不同处理每个土柱中 N 含量(mg) CU	U	NA
石渣土	NH_4^+-N	0～8	0.4	0.0	0.2
		8～18	0.4	0.0	0.3
		18～28	0.5	0.0	0.3
	总量		1.3	0.0	0.8
	$LSD_{0.05}$ = 0.33				
	NO_3^--N	0～8	0.7	0.4	0.2
		8～18	1.3	1.1	0.3
		18～28	2.2	1.5	0.5
	总量		2.9	3.0	1.0
	$LSD_{0.05}$ = 0.47				
粘壤质石灰土	NH_4^+-N	0～5	0.0	0.0	0.0
		5～15	0.8	0.5	0.2
		15～25	0.9	0.7	0.4
		25～35	1.2	0.8	0.5
	总量		2.9	2.0	1.0
	$LSD_{0.05}$ = 0.11				
	NO_3^--N	0～5	0.5	0.3	0.0
		5～15	0.9	0.6	0.2
		15～25	1.5	1.1	0.5
		25～35	2.5	1.5	0.6
	总量		5.4	3.5	1.3
	$LSD_{0.05}$ = 0.31				

酸铵低。包膜尿素通过膜的控制氮的释放，减缓了尿素在土壤中的释放分解、挥发和淋溶速度，使尿素态氮挥发损失大为减少；并且包膜尿素经过 31d 间歇淋洗后仍有 62.7%～70.8%的 N 以颗粒肥料的形式存在于土壤中。包膜在肥料养分的释放和水解过程中起到了重要的延缓释放作用，包膜尿素在土壤中养分释放持续时间显著延长[12,14,15]。

包膜尿素、尿素和硝酸铵在 2 种质地的石灰性土壤中释放转化和迁移的主要氮形态均是 NO_3^--N，这可能与供试土壤及条件有关[8,11]。该 2 种土壤是旱地耕作层，土壤硝化微生物较多，土壤 pH 值属碱性，土壤通气较好，试验环境温度 30～35℃，这些条件均有利于土壤中肥料 NH_4^+-N 转化为 NO_3^--N，肥料中的 NH_4^+ 经硝化而产生的 NO_3^-，在土壤中不容易被土壤吸附固定，容易随土壤水移动而遭淋洗[12]。土壤吸附的肥料 N (NO_3^--N 和 NH_4^+-N)均不高于施 N 总量的 2.1%，特别是硝酸铵处理小于 1%。说明 2 种土壤对速效性氮肥的保蓄性均较差，施用化肥不能明显提高耕层土壤各形态氮含量[16]。综上所述，对于石灰岩发育的石碴土和粘壤质石灰土种植农作物选择氮肥品种时，应该考虑选用包膜尿素之类的缓释肥料和普通尿素，并充分利用其在土壤中 N 释放和形态转化逐步进行的特点，有效地发挥其养分保蓄和供应较协调的性能[1,15,17]。这样不仅有利于提高作物产量和肥料利用率，而且可以降低施肥投资成本，提高经济效益和减少肥料对环境的污染。

参考文献:

[1] 许秀成,李茹萍,等. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告[J]. 磷肥与复肥,2000,15(3):1-6.

[2] 周卫,林葆. 棕壤中肥料钙迁移与转化模拟[J]. 土壤肥料,1996,(1):18-22.

[3] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1990.54-60.

[4] Cox D A. Reducing nitrogen leaching-losses from containerized plants: The effectiveness of controlled-release fertilizer [J].J. Plant Nutrient,1993, 16:533-545.

[5] Khakural B R and Iva A R. Hydrolysis of urea in two sand soils under citrus production as influenced by rate and depth of placement [J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26:2143-2156.

[6] Wang F L and Alva A K. Leaching of nitrogen from readily soluble and slow-release fertilizers in sand soils [J]. Soil Sci. Am. J., 1996,60:1454-1458.

[7] 胡承孝,邓波儿,等. 武汉市菜园土硝酸盐的持留和运移[J]. 土壤通报,1993,24(3):118-120.

[8] 阮晓红,王 超,等. 氮在饱和土壤层中迁移转化特征的研究[J]. 河海大学学报,1996,24(2):86-88.

[9] Paramasivam S and Alva A K. Leaching of nitrogen forms from controlled released fertilizers [J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1997, 36:2678-2683.

[10] 吕国安, 陈明亮, 王春潮. 丹江口库区石碴土土壤水分特性研究[J]. 华中农业大学报,2000,19(4):342-345.

[11] 李世清,李生秀. 影响土壤尿素水解速率的一些因子[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(2):156-162.

[12] Tisdale S l,等(金继运,刘荣乐,等译). 土壤肥力与肥料[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998.

[13] 蔡贵信. 淹水种稻条件下氮肥的氨挥发损失[A]. 我国土壤氮素研究工作的现状与展望[C]. 北京:科学出版社,1986.55-67.

[14] 叶雪珠,马军伟,等. 新型包膜尿素的氮释放动态研究[J]. 浙江大学学报,2000,26(1):114-118.

[15] 何绪生,李素霞,等. 控效肥料的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(2):97-106.

[16] 梁国庆,林 葆,等. 长期施肥对石灰性潮土氮素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(1):3-10.

[17] 孙秀廷,潘 谱,等. 长效尿素的供氮过程及其在稻麦轮作中的生物学效应[J]. 土壤学报,1986,23(1):17-27.

The fate of nitrogen forms of nitrogen fertilizers under alternate leaching and drying conditions

XIONG You-sheng[1,2], CHEN Ming-liang[1], YU Yong-xi[2], DENG Bo-er[1]

(1 Huazhong Agric. Univ., Wuhan 430070, China; 2 Soil ad Fertilizer Inst., Hubei AAS, Wuhan 430064, China)

Abstract: A soil column leaching experiment was conducted in two texture of calcareous soils to evaluate the fate of nitrogen froms of coated urea, urea and ammonium nitrate. The results showed that recovery of total N (included total N in the leacheate, fertilizer N adsorbed by soil and residual fertilizer N) accounted for 90.5%, 74.2% and 93.5% of total N applied in gravel calcareous soil(the ratio of soil and gravel was 1:1.2) and 91.5%, 58.5% and 91.1% of total N applied in clay-loam calcareous soil with coated urea, urea and ammonium nitrate, respectively; and cumulative NO_3^--N in 1750 mL of leacheate was more than 90% of total leacheate N. Soil N (NH_4^+-N and NO_3^--N) was not more than 2.1% of total N applied to the soils with different fertilizers after completion of 7 times alternate leaching and drying. Nutrient released of coated urea was significantly longer than urea and ammonium nitrate, due to 62.7% and 70.8% of coated urea nitrogen presented in the soils as granular fertilizers. Among three kinds of chemical nitrogen fertilizer, the ammonia volatilization loss of urea was possible higher and leaching loss of ammonium nitrate was faster in the soils.

Key words: nitrogen fertilizer; calcareous soils; transformation; leaching