

马唐牧草红壤氮肥的氮挥发、径流和淋溶损失*

周 静^{1,3} 崔 键^{2,3} 胡 锋¹ 王国强¹ 马友华²

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 安徽农业大学资源与环境科学学院, 合肥 230036)

(3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 探讨了我国南方红壤上种植牧草马唐施不同量氮肥, 施氮量与土壤氮挥发、径流和 1 m 深土壤淋溶损失氮量的关系。结果表明, 在施用 N 90、160、230 kg hm⁻² 尿素处理下, 土壤氮挥发损失量分别为 N 0.67、1.24 和 5.16 kg hm⁻², 分别占施氮量的 0.74%、0.77% 和 2.24%, 土壤氮挥发损失量(y)与施氮量(x)呈指数递增关系: $y = 0.156 3e^{0.014 6x}$; 径流氮素损失量分别为 N 1.05、0.88 和 1.01 kg hm⁻², 分别占施氮量的 1.17%、0.55% 和 0.44%, 径流损失的氮量与施氮量之间无明显相关性; 淋溶损失总氮量为 2.05、2.86 和 4.09 kg hm⁻², 分别占施氮量的 0.91%、1.02% 和 1.24%, 土壤淋溶损失总氮量(y)与施氮量(x)呈线性递增关系: $y = 0.012 2x + 1.087 7$ 。

关键词 红壤; 马唐; 施氮量; 氮损失

中图分类号 S14; S15; S54 **文献标识码** A

氮是作物生长所必需的营养元素。施氮肥对作物包括牧草生长有重要的作用。据研究^[1], 在贫瘠的红壤旱地, 不施氮肥时, 禾本科作物将减产 50% ~ 90%。禾本科牧草没有固氮能力, 完全依靠从土壤中吸收其生长发育所需要的氮素, 故牧草高产依靠高量的氮肥投入^[2,3]。同时, 施用氮素还可改善牧草的品质, 使其质嫩、叶片多、蛋白质含量高, 牲畜适口性好^[4]。但是, 高量施用氮肥, 会使氮肥利用率较低, 氮素损失严重。成为农田面源污染的重要来源^[5~8]。沈善敏等^[9]认为, 当前, 施用于农田中的氮肥, 有约 1/3 以上的氮素是以径流、挥发、淋溶等形式进入地球生物圈。就红壤地区而言, 大多数农作物施用氮肥后, 土壤氮挥发损失量占施入氮量的 0.02% ~ 14.8%^[9~11], 硝态氮淋失损失量占施入氮量的 1.02% ~ 25.5%^[12~14]; 农田径流损失氮量每年在 N 0.95 ~ 5.25 kg hm⁻² 之间^[15]。因此, 如何兼顾氮肥使用的农业效益和环境效益, 减少氮肥损失, 降低氮肥对环境的影响是一项重要的课题^[16]。

我国南方红壤地区, 气候温和, 年平均气温为 15 ~ 28 °C; 雨量充沛, 年降雨量一般在 1 200 ~ 1 900 mm 之间; 无霜期 240 ~ 280 d, 生态系统第一生产力高。同时, 南方红壤区也是牧草的重要产区。

近年来, 随着红壤荒地的开发利用和种草养畜的发展, 我国南方引进了多种牧草, 并对其进行了一系列施肥技术研究^[1~3]。马唐 (*Digitaria ischaemum*) 是南方非常普遍的牧草之一, 分布很广。红壤旱地种植马唐是当地政府开发利用红壤旱坡地土地资源、农牧民增加畜牧业产值的主要措施。但是长期以来, 红壤旱地种植牧草施肥管理带有盲目性, 不同施氮水平下, 牧草产量、氮素的损失及其对土壤质量影响的研究报道较少。本试验是以南方广泛分布的牧草马唐为对象, 研究在红壤旱地种植马唐施用氮肥后通过挥发、地表径流和土壤淋溶损失的氮素量, 为探索牧草马唐在红壤地区种植的最佳施氮量、指导马唐等南方牧草的施肥与管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在中国科学院红壤生态试验站养分平衡试验场内。供试土壤为第四纪红黏土发育的红壤, 耕层土壤有机质 11.05 g kg⁻¹, 全氮 0.54 g kg⁻¹, 碱解氮 52.60 mg kg⁻¹, 速效磷 44.83 mg kg⁻¹, 速效钾 283.5 mg kg⁻¹, 土壤 pH(土水比 1:2.5) 为 4.8。供试

*国家自然科学基金项目(40305019)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413)资助

作者简介: 周 静(1963~), 副研究员, 博士研究生。E-mail: zhoujing@issas.ac.cn

收稿日期: 2006-08-12; 收到修改稿日期: 2007-05-10

牧草为马唐 (*Digitaria ischaemum*)。供试氮肥为尿素,安徽临泉产,含纯氮量为 46.3%。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,根据当地群众对牧草马唐的习惯施肥量,设计 4 个施氮处理,3 个重复。4 个氮素处理施纯氮量分别为 0、90、160、230 kg hm^{-2} ,分别标记为 N0、N90、N160 和 N230,分别代表对照(不施氮肥)、低施氮量、中施氮量(群众习惯施用量)和高施氮量。另外各小区磷、钾肥施用量相同,磷肥施用量为 P_2O_5 750 kg hm^{-2} ,钾肥施用量为 K_2O 300 kg hm^{-2} 。所有肥料均作为基肥均匀施于耕作层内。于 2005 年 4 月 14 日施肥,当日播种,各小区马唐播种量相同。5 月 29 日第一次收割,7 月 23 日收割完毕。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤氨挥发测定 采用密闭室法测定^[17,18]。密闭室高 50 cm,直径 30 cm,采用透明有机玻璃材料制作,室底部开放,顶部留一通气孔(直径 30 mm)与 2.5 m 高的通气管连通,将通气管架至地面 2.5 m 高处,以便尽可能地减少交换空气对氨挥发测定的影响。将敞开端插入旱耕地土壤中,使土面与室顶之间形成一个有限的密闭空间。利用抽气减压的方法将密闭室内空气中的氨吸入装有 25 ml 2% 硼酸的 150 ml 的三角瓶,使其吸收固定于硼酸溶液中,用标准酸滴定硼酸中所吸收的 NH_3 ,再减去空白处理硼酸所吸收的 NH_3 ,然后折算为纯氮量,即为挥发损失的氮。

土壤氨挥发测定时间于尿素施入土壤后当天开始,每日测定 2 次,每次 2 h,分别为上午 8:30~10:30 和下午 15:00~17:00;测定截至测不出氨挥发为止。整个田间测定时间开始于 2005 年 4 月 14 日,止于 2005 年 4 月 30 日,共测定 17 d,34 次。

1.3.2 径流水的收集 各小区四周用水泥板封闭。水泥板厚 6 cm,地下埋深 1 m,地上 15 cm,与地表平行处留一个直径为 10 cm 的孔,用塑料软管连接到径流水收集容器内(体积为 25 L 的塑料壶)。每次降雨,记录径流水体积,并取 100 ml 水样带回实验室,分析全氮、 NH_4^+ 和 NO_3^- 。

1.3.3 淋溶水的收集 在各小区底部 1 m 深处设有土壤渗漏水接受装置。用 PVC 导管引出土壤渗漏水,PVC 导管与塑料软管连接,将地下 1 m 深处的土壤淋溶水收集到密封的容器内(体积 10 L 的塑料壶)。每次降雨后收集淋溶水,记录渗漏淋溶水的

体积,并取 100 ml 水样带回实验室,分析全氮、 NH_4^+ 和 NO_3^- 。

1.3.4 水样分析 铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)采用靛酚蓝比色法测定,硝态氮($\text{NO}_3^-\text{-N}$)采用紫外分光光度法测定,全氮采用碱性过硫酸钾消化-紫外分光光度法测定^[19]。

1.3.5 马唐生物量测定 每次收割后,当场称取鲜重,并将两次鲜重的累加作为当季牧草的生物量。

2 结果与分析

2.1 施氮量与氨挥发损失

2.1.1 不同施氮量土壤氨挥发动态曲线 红壤旱地种植牧草马唐不同施氮量处理后,土壤氨挥发动态如图 1 所示。在施肥后的第 1~6 天,曲线斜率较小,氨挥发速率较小,各施氮量处理间土壤氨挥发损失量没有明显差异。第 7 天之后,氨挥发速率加快,各处理的土壤累积氨挥发损失量差异明显。N90 和 N160 处理,氨挥发均持续 14 d,第 7~11 天氨挥发较快,曲线斜率较大,第 7~8 天出现峰值。N230 处理氨挥发持续了 17 d,出现了两个快速挥发阶段,分别在施肥后的第 8~11 天和第 14~16 天,这两个时段内土壤氨挥发动态曲线斜率较大(图 1)。N90、N160 和 N230 处理的日最大氨挥发量均出现在施氮肥后的第 8 天,对应的单日土壤氨挥发通量(减去 N0 处理)峰值分别为 0.11、0.57 和 1.84 $\text{kg hm}^{-2} \text{d}^{-1}$ 。显著性检验表明,N90、N160 和 N230 处理间的日平均氨挥发通量差异达到显著水平($n=51, p<0.05$)。

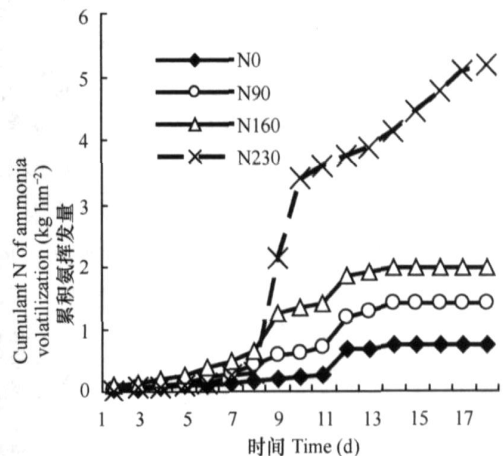


图 1 不同施氮量土壤氨挥发动态曲线

Fig. 1 Dynamic curves of cumulant N of ammonia volatilization after urea applied

红壤旱地种植牧草马唐不同施氮量处理后第 8 天出现最大日土壤氮挥发通量,在土壤氮挥发测定期间,不同施氮量处理小区的日平均土壤氮挥发通量差异显著。鲁如坤等^[20]认为,尿素施入红壤后,80%在 1 周内转化为 NH_4HCO_3 ,并且施入尿素量越多,土壤中 NH_4^+ 浓度越高,氮挥发量越多。红壤种植牧草马唐施氮肥尿素后土壤氮挥发的过程与鲁如坤等^[20]研究的结果一致。

2.1.2 施氮量与土壤氮挥发损失量的关系 红壤旱地种植马唐施入尿素氮肥,土壤氮挥发损失量随施氮量增加而增加(图 2)。土壤氮挥发损失量(y ,减去 N_0 处理)与施氮量(x)呈指数递增关系: $y = 0.156 3e^{0.014 6x}$ 。N90、N160 和 N230 处理的土壤氮挥发损失量(减去 N_0 处理)分别为 $\text{N } 0.67$ 、 1.24 和 5.16 kg hm^{-2} ,分别占施氮量的 0.74%、0.77% 和 2.24%。此结果低于曹金留等^[15]在黄棕壤麦田上研究的施尿素后土壤氮挥发损失量占施氮量 4.07%~14.8%的结果。邓肯新复极差法($\alpha = 0.01$)

检验表明,本试验中,N230 处理与 N160、N90 处理之间,土壤氮挥发损失量差异分别达到极显著水平,而 N160 处理与 N90 处理之间差异不显著(表 1)。

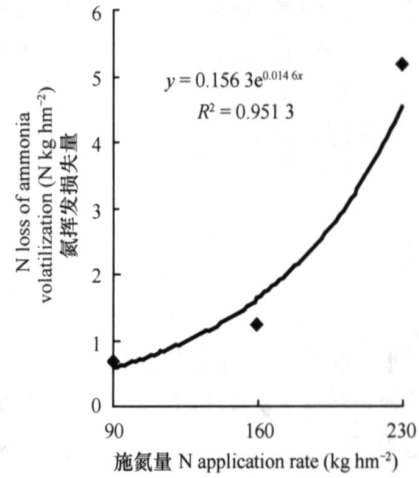


图 2 施氮量与氮挥发损失量的关系

Fig. 2 Relationship between N application rate and ammonia volatilization

表 1 春季种植马唐不同施氮量处理红壤旱地氮挥发损失及其差异性检验¹⁾

Table 1 Effects of N application rate on ammonia loss through volatilization in red soil planted with *Digitaria ischaemum* in spring and Duncan test

处理代号 Treatment code	施氮量 N application rates(kg hm^{-2})	氮挥发损失量 Ammonia volatilization losses(N kg hm^{-2})	氮损失比率 Loss ratio of N applied (%)
N90	90	0.67 B	0.74 B
N160	160	1.24 B	0.78 B
N230	230	5.16 A	2.24 A

1) 采用邓肯新复极差法 SSR method, $n = 51$, $\alpha = 0.01$

2.2 施氮量与氮素径流损失

2.2.1 施氮量对农田径流量的影响 不同施氮量处理,马唐生物量不同,导致各处理区径流量不同(图 3)。由图 3 可以看出,马唐生物量随施氮量的增加而线性增加,N0、N90、N160 和 N230 处理产出牧草量分别为 5.8、29.5、38.2 和 44.9 t hm^{-2} 。马唐生长期累积径流量随施氮量的增加而递减,N0 处理产生的径流量为 1 828 $\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$,分别为 N90、N160 和 N230 处理产生的径流量的 1.1 倍、1.6 倍和 1.7 倍。图 4 反映了马唐生长期各施氮处理区径流量与马唐生物量的关系。可以看出,不同施氮处理径流量与生物量呈线性负相关。可见,施氮量越高,田间马唐的覆盖度越高,产生的径流量越少。

相关性检验表明,马唐生物量与施氮量之间达到显著正相关水平($p < 0.05$),径流量与施氮量之间也达到显著负相关水平($p < 0.05$)(图 3),而径流量与马唐生物量之间相关性不显著(图 4)。

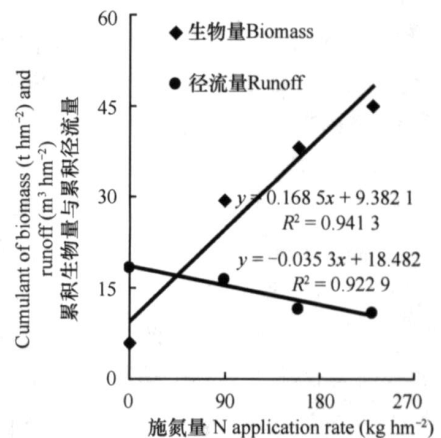


图 3 马唐生物量与径流量随施氮量的变化

Fig. 3 Variation of biomass of *Digitaria ischaemum* and amount of runoff with N application rate

2.2.2 施氮量与氮素径流损失 农田中 90% 以上的营养物流失与土壤流失有关^[21],流失的土壤带

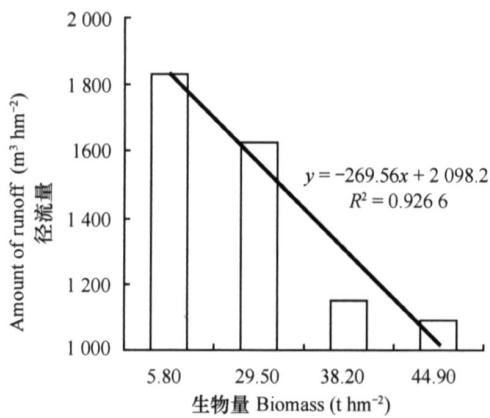


图4 径流量与马唐生物量的关系

Fig. 4 Relationship between amount of runoff and biomass of *Digitaria ischaemum*

走了大量的氮磷等营养物质。本试验种植马唐不同施氮量处理红壤旱地径流带走的氮素量与施氮量的关系见表2。在4个施氮处理(N0、N90、N160和N230)中,马唐生长期径流损失总氮量分别为N0.63、1.05、0.88和1.01 kg hm⁻²,N90、N160和N230处理氮素径流损失分别占施氮量的1.17%、0.55%和0.44%。其中,N0、N90、N160和N230处理径流中损失的硝态氮(NO₃⁻-N)分别为N0.24、0.33、

表2 马唐生长期不同施氮量处理氮素径流损失及其差异性检验¹⁾Table 2 Effects of N application rate on N loss through runoff during growth stage of *Digitaria ischaemum* and Duncan test

处理代号 Treatment code	全氮 Total N (kg hm ⁻²)			NO ₃ ⁻ -N (kg hm ⁻²)			NH ₄ ⁺ -N (kg hm ⁻²)		
	5月 May	6月 June	总量 Total	5月 May	6月 June	总量 Total	5月 May	6月 June	总量 Total
N0	0.49	0.14	0.63A	0.19	0.05	0.24A	0.058	0.016	0.074A
N90	0.77	0.28	1.05A	0.25	0.08	0.33A	0.143	0.024	0.167A
N160	0.57	0.31	0.88A	0.21	0.10	0.31A	0.134	0.020	0.154A
N230	0.76	0.25	1.01A	0.34	0.05	0.39A	0.145	0.017	0.162A

1) 试验区马唐生长期中4月份和7月份地表无径流产生;表中同一列数据后相同字母表示在1%显著性水平上未达到极显著差异 In April and July during the growth stage of *Digitaria ischaemum* (Larin) no runoff was observed in the experimental fields. Data followed by the same letters in the same column are not significantly different at the 1% level

2.3 施氮量与氮素淋溶损失

在马唐生长期内,红壤旱地不同施氮量处理土壤氮素淋溶损失情况如表3所示。N90、N160和N230处理,土壤氮素淋溶损失量(扣除N0处理)分别为N2.05、2.86和4.09 kg hm⁻²,分别占施氮量的0.91%、1.02%和1.24%。可见,红壤旱地种植马唐,土壤氮素淋溶损失量较少,虽然氮素淋溶损失量也随氮肥施用量的增加而递增。其中,土壤淋溶损失的硝态氮(NO₃⁻-N)分别为N1.71、2.35和3.10 kg hm⁻²,分别占土壤淋溶损失总氮量的83.4%、

0.31和0.39 kg hm⁻²,分别占径流损失总氮量的38.1%、31.4%、35.2%和38.6%;铵态氮(NH₄⁺-N)损失量则分别为N0.07、0.17、0.15和0.16 kg hm⁻²,分别占径流损失总氮量的11.8%、15.9%、17.5%和16.0%。可见,红壤旱地种植牧草马唐施氮肥后径流损失的氮素以NO₃⁻-N为主,这与王兴祥等^[22]在中亚热带低丘红壤地区研究的结果相似。

显著性检验表明,牧草马唐生长期内,不同施氮量处理通过径流损失的氮量差异不显著。试验期间,共收集到7次径流水,其中5月份收集到4次,6月份3次;有地表径流产生的日降雨量在13.8~116.6 mm之间。何圆球等^[23]对红壤丘岗区人工林土壤水分、养分流失动态进行了研究,认为降雨强度和降雨频率均与径流的形成及径流与土壤作用强度密切相关。红壤地区日降雨量在10~15 mm以上时,才会产生径流。降雨强度和频率越大,径流带走土壤可溶性营养元素越多。施氮量越高,则牧草马唐的生物量和田间覆盖度越高,产生的径流量越少。反之,施氮量低的处理,马唐的生长量和田间覆盖度低,产生的径流量大。这使得不同施氮量处理小区通过径流损失的氮量无明显差异性。

82.2%和75.8%。土壤淋溶损失的铵态氮(NH₄⁺-N)较少,分别只占土壤淋溶损失总氮量的1.17%、1.09%和1.43%。可见,红壤旱地种植牧草马唐期间土壤淋溶损失的氮素以NO₃⁻-N为主,这与何圆球等^[23]在红壤丘岗人工林中的研究结果基本一致。红壤施入尿素一段时间后,硝化作用增强,土壤溶液中NO₃⁻浓度增高,在水分下移运动的作用下,极易发生NO₃⁻淋失。

显著性检验表明,在马唐生长期内,红壤旱地不同施氮量处理中,N160和N90这两个施氮处理与

表3 马唐生长期不同施氮量处理氮素淋溶损失及其差异性检验¹⁾Table 3 Effects of N application rate on N loss through leaching during the growth stage of *Digitaria ischaemum* and Duncan test

处理代号 Treatment code	全氮 Total N (kg hm ⁻²)				NO ₃ ⁻ -N (kg hm ⁻²)				NH ₄ ⁺ -N (kg hm ⁻²)			
	4月 April	5月 May	6月 June	总量 Total	4月 April	5月 May	6月 June	总量 Total	4月 April	5月 May	6月 June	总量 Total
N0	0.33	0.86	0.04	1.23 B	0.24	0.81	0.05	1.10 B	0	0	0.01	0.01 B
N90	0.79	0.98	0.28	2.05AB	0.48	0.94	0.29	1.71AB	0.01	0	0.01	0.02AB
N160	0.70	1.75	0.41	2.86AB	0.35	1.60	0.54	2.49AB	0	0.01	0.02	0.03AB
N230	0.53	2.56	1.00	4.09A	0.40	1.67	1.42	3.49A	0.02	0.02	0.03	0.06A

1) 试验区马唐生长期中4月份和7月份地表无径流产生;表中同一列数据后不同字母表示在1%显著性水平上达到极显著差异 In April and July during the growth stage of *Digitaria ischaemum* (Larin) no runoff was observed in the experimental fields. Data followed by the different letters in the same column are significantly different at the 1% level

NO 处理相比,土壤淋溶损失的全氮、NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 三种形态的氮累积量差异均达到显著水平 ($p < 0.05$); N230 处理与 N0 处理相比,土壤淋溶损失的全氮、NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 这三种形态的氮累积量差异均达到极显著水平 ($p < 0.01$)。试验中3个施氮量处理(N90、N160和N230)间,上述三种氮形态土壤淋溶损失的氮累积量差异均未达到显著水平。牧草马唐根系发达,生长较深,吸收氮能力较强。同时,供试土壤黏重,氮素向下淋溶阻力较大,且红壤中含有大量的 Al³⁺ 和 H⁺,对 NO₃⁻ 有较强的吸附作用,从而减少了氮素在土壤中的淋失,使得红壤旱地氮素淋溶损失量较小。上述原因使得红壤种植牧草马唐期内,这3个施氮量处理土壤累积氮素淋溶损失量之间差异不显著。鲁如坤等^[24]在研究我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡时指出,土壤氮素淋失量较小导致了氮肥用量与土壤氮素淋溶损失量之间差异不明显。

红壤旱地马唐施用尿素后,土壤氮素淋溶损失量(y)随施氮量(x)的增加而线性增加,关系式分别为($n = 12$):

$$\text{TN: } y = 0.0122x + 1.0877, R^2 = 0.9755^*$$

$$\text{NO}_3^- \text{-N: } y = 0.0087x + 1.0235, R^2 = 0.9886^{**}$$

$$\text{NH}_4^+ \text{-N: } y = 0.002x + 0.0635, R^2 = 0.9283^*$$

这种供试红壤氮素淋溶损失量与施氮量的关系,与李世清等^[25]在红油土上的研究结果类似,其主要原因在于土壤质地等。第四纪红黏土发育的红壤与红油土的质地均较黏重,土壤的透水性能较一致,进而这两种土壤的氮素淋失量与施氮量的关系较为相近。因而初步认为,基本性质相近、质地相同的土壤,其经土壤淋溶损失的氮素量与外源施氮量的关系应是一致的。

试验中,土壤氮素淋溶损失量为 N 2.05 ~ 4.09

kg hm⁻²,占施氮量的0.91%~1.24%,远低于姚建武等^[9]在热带亚热带多雨湿润区赤红壤室内模拟研究得出的平均淋失率为25.5%的结果,其原因主要在于肥料施用量、土壤基本性质、淋溶时间、降雨量、作物覆盖程度等的差异。并且与姚建武等^[12]的室内模拟试验相比,本试验在大田状况下土壤表层有牧草马唐的覆盖,试验期长,降雨相对分散,雨量和温度差异大,有氮素径流损失,这是造成本试验结论中氮素淋溶损失量偏低的原因。

3 讨论

红壤旱地种植马唐不同施氮量处理后, N90、N160和N230处理通过氨挥发、径流和淋溶三种途径损失的氮素总量分别为 N 1.92、3.13和8.14 kg hm⁻²,分别占施入氮素的2.13%、1.96%和3.66%。N90、N160和N230处理氨挥发损失量分别占这三种途径氮素总损失的35.42%、39.93%和61.47%,氮素径流损失占21.88%、7.99%和4.52%,氮素淋溶损失占42.71%、52.08%和34.01%。可见,红壤旱地种植马唐施入尿素,比较氨挥发、径流和淋溶三种氮素损失途径,以氨挥发和淋溶为主。如前文所述,与他人^[9~11]在同类地区其他作物上的试验比较,本试验中这三种途径氮素损失量占施入量的比率相对偏低。这与供试土壤性质、氮素施用量、马唐施肥管理方式、马唐生长期限等有关。第四纪红黏土发育的红壤,比较黏重,土壤孔隙度小,pH较低,不利于氨的挥发和氮素的淋溶。本试验尿素施入土壤时,当时气温较低,土壤和空气的湿度较大,不利于脲酶的活动,尿素分解时间延长,土壤吸附有效态的氮素较多,利于马唐根茎对有效态氮素的吸收,导致氨挥发和氮素淋溶损失相对减少。红壤地区降雨集中,而且降雨强度大,径流与

表层土壤作用时间短,土壤溶出的氮素较少,加上马唐生长覆盖,使径流带走的尿素氮相对较少。马唐收割后,除大气沉降外,没有外源氮素的进入。特别是从马唐第一次收割起至第二次收割期间,降雨较少,马唐生长所需氮素主要来源于土壤中速效态氮素,从而降低氮素通过径流和淋溶的损失。同时,马唐茎叶带走的氮素大致在40%左右(另文讨论),也会导致马唐生长期间施氮肥后土壤氮素损失的减少。另外,本文对尿素施入土壤后通过硝化-反硝化造成的氮素损失未计算在内,可能也是本研究结果偏低的原因之一。据刘德林等^[13]在红壤水稻土上的研究,尿素氮的硝化-反硝化损失率在3.46%~37.75%之间。

参考文献

- [1] 李香真,陈佐忠. 放牧草地生态系统中氮素的损失和管理. 气候与环境研究, 1997, 2(3):241~250. Li X Z, Chen Z Z. Nitrogen loss and management of grazed grassland (In Chinese). Climatic and Environment Research, 1997, 2(3):241~250
- [2] 张久权, Horne P. 石灰和养分对华中南红壤上牧草生长的影响. 见:张马祥主编. 中国红壤与牧草. 北京:中国农业科技出版社, 1993. 163~166. Zhang J Q, Horne P. Influence of lime and nutrient affected grass growth in red soil regions of central China. In: Zhang M X. ed. Red Soil and Grass in China (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1993. 163~166
- [3] 徐明岗,张久权,文石林. 南方红壤丘陵区牧草的肥料效应与施肥. 草业科学, 1997, 14(6):21~23. Xu M G, Zhang J Q, Wen S L. The fertilizer effects and fertilization of herbage in red soil hilly regions of southern China (In Chinese). Pratacultural Science, 1997, 14(6):21~23
- [4] 潘永年. 黑麦草优质高产栽培技术研究. 中国草地, 1996(1):24~26. Pan Y N. Study on a high-yielding technologic cultivation of ryegrass (In Chinese). Grassland of China, 1996(1):24~26
- [5] 曾江海,张玉铭,胡春胜,等. 氮磷平衡施用的土壤氮素动态和改善小麦品质的功效. 土壤学报, 2002, 39(增刊):157~162. Zeng J H, Zhang Y M, Hu C S, et al. Effect of applying nitrogen combined with phosphorous on the dynamic of soil nitrogen and quality of wheat (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(Suppl.):157~162
- [6] 李伟波,吴留松,廖海秋. 太湖地区高产稻田的氮肥施用与作物吸收利用研究. 土壤学报, 1997, 34(1):61~73. Li W B, Wu L S, Liao H Q. Application and crop recovery of N fertilizer in high-yielding paddy fields of Taihu Lake region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(1):61~73
- [7] 胡春胜,程一松,李晓欣. 太行山前平原农田生态系统中硝态氮的淋失研究. 土壤学报, 2002, 39(增刊):262~269. Hu C S, Cheng Y S, Li X X. Leaching loss of NO₃⁻-N in farmland ecosystem of piedmont plain of Mt. Taihang (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(Suppl.):262~269
- [8] Zhang Y M, Chen D L, Zhang J B, et al. Ammonia volatilization and denitrification losses from an irrigated maize-wheat rotation field in the North China Plain. Pedosphere, 2004, 14(4):533~540
- [9] 沈善敏. 氮肥在中国农业发展中的贡献和农业中氮的损失. 土壤学报, 2002, 39(增刊):12~25. Shen S M. Contribution of nitrogen fertilizer to the development of agriculture and its loss in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(Suppl.):12~25
- [10] 曹志洪. 施肥与大气环境质量——论施肥对环境的影响(1). 土壤, 2003, 35(4):265~270. Cao Z H. Effect of fertilization on air quality—Effect of fertilization on environment quality (1) (In Chinese). Soils, 2003, 35(4):265~270
- [11] 艾绍英,姚建武,刘国坚,等. 热带-亚热带多雨湿润区旱地土壤氮挥发研究. 中国农学通报, 1999, 15(6):13~17. Ai S Y, Yao J W, Liu G J, et al. Study on ammonia loss by volatilization for fertilized to dry land in the tropics and subtropics (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 1999, 15(6):13~17
- [12] 姚建武,艾绍英,周修冲. 热带亚热带多雨湿润区旱地土壤氮肥淋溶损失模拟研究. 土壤与环境, 1999, 18(4):314~315. Yao J W, Ai S Y, Zhou X C. Study on simulation of N fertilizer leaching loss to dry land in the tropics and subtropics (In Chinese). Soil and Environmental Science, 1999, 18(4):314~315
- [13] 刘德林,聂军,肖剑. ¹⁵N 标记水稻控释氮肥对提高尿素氮素利用率的研究. 激光生物学报, 2002, 11(2):87~92. Liu D L, Nie J, Xiao J. Study on ¹⁵N labeled rice controlled release fertilizer in increasing nitrogen utilization efficiency (In Chinese). Acta Laser Biology Sinica, 2002, 11(2):87~92
- [14] 毕经伟,张佳宝,陈效民,等. 应用 HYDRUS-1D 模型模拟农田土壤水渗漏及硝态氮淋失特征. 农村生态环境, 2004, 20(2):28~32. Bi J W, Zhang J B, Chen X M, et al. Simulation of soil water leaching and nitrate-N loss with leachate in the field using HYDRUS-1D model (In Chinese). Rural Eco-Environment, 2004, 20(2):28~32
- [15] 曹金留,田光明,任立涛. 江苏南部地区稻麦两熟土壤中尿素的氨挥发损失. 南京农业大学学报, 2000, 23(4):51~54. Cao J L, Tian G M, Ren L T. Ammonia volatilization from urea applied to the field of wheat and rice in southern (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2000, 23(4):51~54
- [16] 尹娟,勉韶平. 稻田中氮肥损失途径研究进展. 农业科学研究, 2005, 26(2):76~81. Yin J, Mian S P. Review of losses pathways of fertilizer N from paddy field and the measurements for reduction (In Chinese). Journal of Agricultural Science, 2005, 26(2):76~81
- [17] Kissel D D, Brewer H L, Arkin G F. Design and test of a sampler for ammonia volatilization. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 42(1):1133~1138
- [18] 苏成国,尹斌,朱兆良,等. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气的湿沉降. 应用生态学报, 2003, 14(11):1884~1888. Su C G, Yin B, Zhu Z L, et al. Ammonia volatilization loss of nitrogen fertilizer from rice field and wet deposition of atmospheric nitrogen in rice growing season (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11):1884~1888
- [19] 谢贤群,王立军主编. 水环境要素观测与分析. 北京:中国

- 标准出版社, 1998. 57~58. Xie X Q, Wang L J. eds. Observation and Analysis of Water Environment Factors (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1998. 57~58
- [20] 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤养分退化研究()——尿素和碳铵在红壤中的转化. 土壤通报, 1995, 26(6):241~243. Lu R K, Shi Z Y, Lai Q W. Study on nutrition degeneration of red soil. Transformation of urea and ammonium bicarbonate in red soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1995, 26(6):241~243
- [21] 王晓燕. 农业非点源污染及其控制管理. 农业面源污染与综合防治, 2004(11):10. Wang X Y. Study on nonpoint source pollution and its control and management (In Chinese). Agricultural Spanned Pollution and Its Control, 2004(11):10
- [22] 王兴祥, 张桃林, 张斌. 红壤旱坡地农田生态系统养分循环和平衡. 生态学报, 1999, 19(3):335~341. Wang X X, Zhang T L, Zhang B. Nutrient cycle and balance of sloping upland ecosystem on red soil (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3):335~341
- [23] 何圆球, 王兴祥, 胡锋, 等. 红壤丘岗区人工林土壤水分、养分流失动态研究. 水土保持学报, 2002, 16(4):91~93. He Y Q, Wang X X, Hu F, et al. Dynamic of soil nutrient and water loss in artificial forest in low hilly red soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(4):91~93
- [24] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究. 土壤通报, 1996, 27(4):45~51. Lu R K, Liu H X, Wen D Z. Study on nutrient cycle and balance of agricultural ecosystem in selected area of China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(4):45~51
- [25] 李世清, 李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失. 应用生态学报, 2000, 11(2):240~242. Li S Q, Li S X. Leaching loss of nitrate from semiarid area agro-ecosystem (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2):240~242

N LOSS THROUGH VOLATILIZATION, RUNOFF AND LEACHING FROM RED SOIL PLANTED WITH DIGITARIA ISCHAEMUM

Zhou Jing^{1,3} Cui Jian^{2,3} Hu Feng¹ Wang Guoqiang¹ Ma Youhua²

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 College of Resources and Environmental Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

(3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Relationship was explored of N loss through ammonia volatilization, runoff and soil leaching (at the depth of 1 m in the soil profile) with nitrogen (urea) application rate in red soil planted with Smooth Crabgrass (*Digitaria ischaemum*). Results show that N lost through ammonia volatilization in Treatments N 90, N 160 and N 230 (kg hm^{-2}) reached 0.67, 1.24 and 5.16 kg hm^{-2} , respectively, accounting for 0.74%, 0.77% and 2.24% of the total N applied, showing a rising exponential relationship between the total amount of N lost through ammonia volatilization (y) and the N application rate (x) ($y = 0.1563e^{0.0146x}$). The amount of N lost through runoff was N 1.05, 0.88 and 1.01 kg hm^{-2} , accounting for 1.17%, 0.55% and 0.44% of the total N applied, respectively, in the three N treatments. There was no significant relationship between the total amount of N lost through runoff and the N application rate during the growth stage of Smooth Crabgrass. In this experiment, the amount of N lost through leaching was 2.05, 2.86 and 4.09 kg hm^{-2} , which accounted for 0.91%, 1.02% and 1.24% of N applied, respectively, showing an approximate linear relationship between the total amount of N lost through soil leaching (y) and the amount of N applied (x) ($y = 0.0122x + 1.0877$).

Key words Red soil; *Digitaria ischaemum*; N application rate; N loss