

旱田养分淋溶规律及对地下水影响的研究

任丽萍, 宋玉芳, 许华夏, 巩宗强, 姚德明

(中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态系统痕量物质生态过程开放实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 通过农田 1 m 深土层的模拟渗滤实验, 对旱田养分淋溶规律和产生的环境影响——氮、磷、钾对地下水的潜在污染, 进行了以黑麦草为供试作物, 农用化肥氮、磷、钾为供试肥料的养分淋溶试验研究。结果表明, 在旱田土壤中, 氮肥的淋溶与施肥量呈显著正相关, 主要以 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 形式产生淋溶, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失率是施肥量 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 15.85%, 淋溶含量大于 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过 WHO 颁布的饮用水质量标准 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对地下水造成严重污染; 磷肥的淋溶主要在土壤中以固定作用为主, 其淋溶与对照无明显差异, 对地下水无污染影响; 钾肥的淋溶取决于施肥量, 当施肥量在 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 钾的最大淋溶含量为 $14.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过欧洲经济共同体颁布的饮用水质量标准 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对地下水有潜在污染影响。

关键词: 旱田; 施肥量; 养分淋溶; 地下水; 影响

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)03 – 0133 – 04

Eluviation of Nutrients in Glebe – Soil and Its Influence on Groundwater

REN Li-ping, SONG Yu-fang, XU Hua-xia, GONG Zong-qiang, YAO De-ming

(Laboratory of Ecological Process of Trace Substance in Terrestrial Ecosystem, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016 China)

Abstract: A simulative leaching experiment was carried out with black straw and N, P, K fertilizers as test materials using one – meter soil layer to evaluate eluviation of the various nutrients in glebe – farmland and its environmental impacts, mainly, on potential contamination of groundwater. The results showed that eluviation of nitrogen was positive correlation with applied amounts of fertilizers and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ was the major form of eluviation of nitrogen. The leaching rate of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ was composed of 15.85% of fertilizing amount, resulting in pollution of $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in groundwater, which was higher than the standard of $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for drinking water quality issued by WHO. Immobilization was major form of eluviation of phosphorus in the soil, which was negligible different from control and causing little contamination on groundwater. It has also been found that the eluviation of potassium was $14.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, which exceeded the standard of $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for drinking water quality issued by EEC and had a potential environmental impact on groundwater when the soil receiving potassium of $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Keywords: dry farmland; fertilizing amount; nutrient eluviation; groundwater; impact

化肥是促进农业生产发展的主要途径之一, 但是, 施入农田的化肥仅有一部分为农作物所吸收, 一般各种作物对肥料的利用率为 N 40%—50%, P 10%—20%, K 30%—40%, 其余大部分被农田排水和地表径流携至地下水与地表水环境系统, 使地下水源受到潜在污染威胁^[2]。1993 年我国氮肥(以 N 计)消费量已超过 2 000 万 t, 占世界第一, 我国农田磷素进入水体的通量为 $19.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比美国高 8 倍^[1]。化肥

平均使用量逐年上升, 化肥有效成分 1991 年已达 $293 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 远远超过美国 $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[3]。过量施用化肥一方面提高了农产品的成本, 另一方面造成了环境问题^[4, 5], 其中土壤中铵态氮硝化淋溶损失引起的地下水中硝酸盐的积累及氮肥的反硝化所产生的 N_2O 或 N_2 对大气臭氧层的破坏, 已经引起国际的广泛关注。

本文针对化肥的施肥量, 就旱田土壤中养分淋溶对环境污染这一问题, 开展了田间模拟渗滤实验, 探明旱田养分淋溶规律及对地下水的影响, 为深入探讨土壤 – 作物系统中化肥的损失途径提供定量的评价和对地下水影响提供理论依据。

收稿日期: 2000 – 08 – 19

基金项目: 中国科学院“九五”特别支持项目 KZ95T – 04 – 01 和中国科学院沈阳生态试验站资助

作者简介: 任丽萍(1961—), 女, 中国科学院沈阳应用生态研究所工程师, 主要从事污染生态化学方面研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自沈阳生态开放实验站,土壤理化性质见表 1;供试肥料为尿素(含 N 46.3%)、三料磷(含 P_2O_5 46%)和硫酸钾(含 K_2O 50%);供试作物为黑麦草;供试土柱规格为直径 0.3 m,高 1.0 m 圆柱筒。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil tested						
土层 /cm	全 N /%	全 P /%	全 K /%	有机质 /%	$NH_4^+ - N$ /mg · kg ⁻¹	$NO_3^- - N$ mg · kg ⁻¹
0—20	0.073	0.041	0.85	1.38	11.99	1.45
20—50	0.069	0.040	1.02	1.25	11.07	1.36
> 50	0.059	0.042	1.07	1.06	12.08	1.87

1.2 土柱渗滤实验设计

试验布置在沈阳生态试验站旱田地上,该试验站地处下辽河平原;年平均气温 7℃—8℃,夏季平均气温 24℃;年平均降水量为 700mm。按土壤剖面 0—20 cm, 20—50 cm, 50 cm 以下分层采于农田土装柱。实验设为 3 个处理,每个处理为 3 个重复,具体设计见表 2。氮肥分底肥和追肥施入,磷肥和钾肥为底肥 1 次施入,将底肥施入表层土壤(0—20 cm)均匀混合后返回土柱中,5 月 5 日投加底肥,6 月 26 日投加追肥。定期接收渗滤出水,分别测定铵态氮($NH_4^+ - N$)、硝态氮($NO_3^- - N$)、总磷(T-P)、可溶性磷和钾(K)的含量,同时记录渗水量,备用于计算渗滤累积量。实验于 1999 年 5 月 5 日至 10 月 11 日进行。

表 2 投加肥料土柱渗滤实验设计

Table 2 Leaching test from the soil column receiving various fertilizers				
处理	重复编号	施肥量/kg · hm ⁻²	施肥方式 /kg · hm ⁻²	植物
对照	CK ₁	N = 0		无
	CK ₂	P = 0		
	CK ₃	K = 0		
低量肥	L ₁	N = 120	N 底肥 = 40 N 追肥 = 80	黑麦草
	L ₂	P = 60	P 底肥 = 60	
	L ₃	K = 60	K 底肥 = 60	
高量肥	H ₁	N = 240	N 底肥 = 80 N 追肥 = 160	黑麦草
	H ₂	P = 60	P 底肥 = 60	
	H ₃	K = 120	K 底肥 = 120	

注:表中的 1、2 和 3 分别表示 3 个重复;N、P 和 K 分别表示氮肥、磷肥和钾肥及有效成分。

1.3 测定方法^[6,7]

铵态氮采用纳氏试剂比色法(GB 7479—87);硝态氮采用酚二磺酸分光光度法(GB 7480—87);可溶性磷采用钼锑抗分光光度法;钾采用火焰原子发射法。

2 结果与讨论

2.1 土柱渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 淋溶的含量变化

从图 1(取 3 个重复的平均值,下同)可见,3 种处理之间渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的浓度变化趋势基本吻合,在雨季作物生长期渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 呈下降趋势,在秋季少雨时节,渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 又呈回升趋势,由图 1 表明,渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的浓度变化与施肥量关系不大,与季节性的变化和水量(降雨量)的多少密切相关。从整个作物生长期来看,不论是低肥量处理还是高肥量处理与对照比较,渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的浓度均无明显差异,因此对地下水体污染无潜在影响。

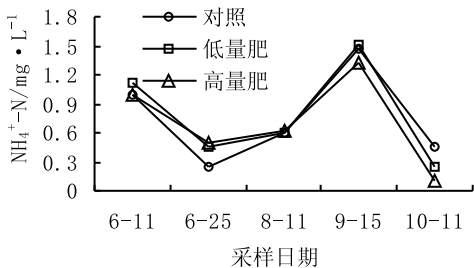


图 1 土柱渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的含量变化
Figure 1 Contents of $NH_4^+ - N$ in leaching water from the soil column tested

从图 2 渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的渗滤累积量看,氮肥施入土壤初期时,转化的 $NH_4^+ - N$ 较少,施入土壤后期明显增加,但从不同处理看,高量肥处理较低量肥处理转化的 $NH_4^+ - N$ 明显减少,这是由于土壤中施入多量氮肥后,受作物生物量的限制,土壤中的氮素短时间内不能被全部吸收,使之土壤中的氮素释放出的 $NH_4^+ - N$ 在土壤中强烈发生硝化作用而迅速转化为 $NO_3^- - N$,致使高量肥处理的 $NH_4^+ - N$ 明显较低量肥处理的 $NH_4^+ - N$ 少的原因(见图 4 更能说明之)。

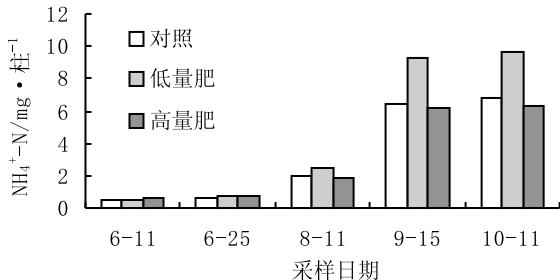


图 2 土柱渗滤水中 $NH_4^+ - N$ 的累积量变化
Figure 2 Accumulation of $NH_4^+ - N$ in leaching water from the soil column tested

2.2 土柱渗滤水中 $NO_3^- - N$ 淋溶的含量变化

从图 3 可见,3 种处理渗滤水中 $NO_3^- - N$ 的浓度

变化 ($0.036\text{--}74.495\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 曲线呈下降趋势。但是, 高量肥处理与对照和低量肥处理比较产生的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 明显增加, 低量肥处理与对照比较, 产生的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量基本吻合, 可见, 低量肥处理所产生的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与对照比较无显著差异, 对地下水污染基本无影响; 而高量肥处理较对照所产生的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 明显增加, 其渗滤水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度变化范围 6 月—8 月期间为 $30.285\text{--}56.330\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (未扣除对照值), 在 9 月—10 月期间为 $5.145\text{--}13.689\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (未扣除对照值), 显然 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋溶含量高峰时期出现在施肥后的前期和中期, 如果与 WHO 颁布的饮用水质量标准中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的最大容许浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 我国的相应标准是 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以此为准, 该浓度范围对地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均已严重超标。结果表明, 在氮肥施肥剂量为 $120\text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 对地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的污染影响较小; 在施肥剂量为 $240\text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 对地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 有极明显的污染影响。

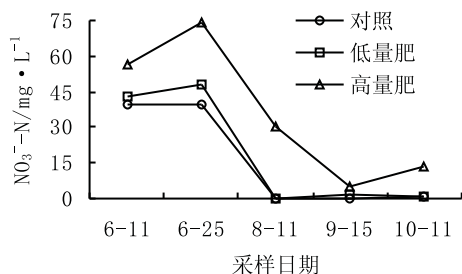


图3 土柱渗滤水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的含量变化
Figure 3 Contents of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in leaching water from the soil column tested

图4是土柱 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 渗滤累积量, 从图4中可见, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋溶作用是一种累进过程, 而且土壤对氮的硝化作用强弱取决于施肥量的高低, 例如: 高量肥处理渗滤水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的渗滤累积量较对照和低量肥处理明显增加, 尤其在施肥后期 8 月 11 日, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的累积量加速增加, 约是低量肥处理的 2

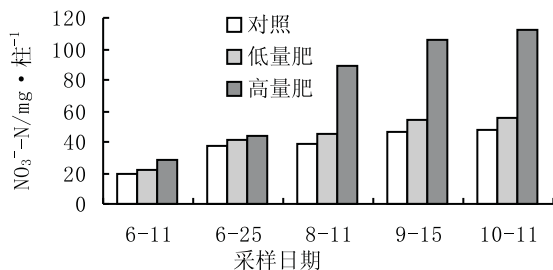


图4 土柱渗滤水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的累积量变化
Figure 4 Accumulation of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in leaching water from the soil column tested

倍, 可见大量氮素在强烈的硝化作用下产生 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 在水流的作用下极易被淋溶下来, 其 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失量 ($55.033\text{--}112.514\text{ mg}$) 相当于氮肥 (N) 施肥量 $120\text{--}240\text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的 $6.46\%\text{--}15.85\%$ (未扣除对照值), 与朱兆良文献^[18]报道相符。由此说明旱田土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失量取决于施肥量的高低, 必须根据作物的需肥情况, 适时适量地施肥。

2.3 土柱渗滤水中可溶性磷淋溶的含量变化

图5和图6中低量肥处理与高量肥处理中施入的磷肥量是一样的 (见表2), 因考虑到磷肥与氮肥的配比对氮肥在土壤中硝化形成的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积量的影响差异, 故此实验设计磷肥在同一等级。

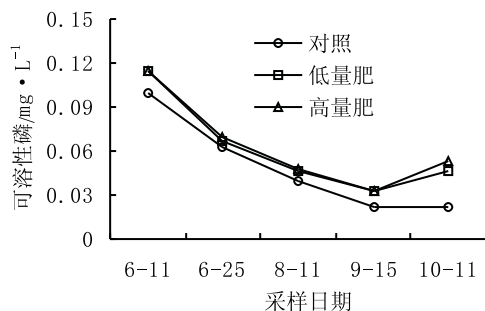


图5 土柱渗滤水中可溶性磷的含量变化
Figure 5 Contents of soluble phosphates in leaching water from the soil column tested

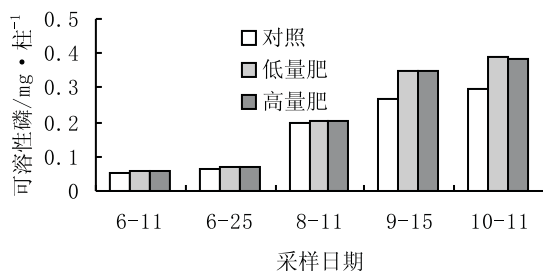


图6 土柱渗滤水中可溶性磷的累积量变化
Figure 6 Accumulation of soluble phosphates in leaching water from the soil column tested

从图5可见, 渗滤水中可溶性磷的含量在施肥初期, 施肥处理较对照检出浓度略高一点, 而在施肥中后期, 二者处理差别不大, 曲线变化趋势基本一样, 呈下降趋势, 由此表明, 磷肥施入土壤后, 主要以固定作用为主, 随水流向下迁移极为缓慢。但从图6中看出, 尽管磷酸盐主要以固相形式存在于土壤中, 但是施肥仍可产生磷的淋失。在施肥前中期, 施肥处理与对照比较, 渗滤累积量无明显差异, 但在施肥后期, 磷的渗滤累积量较明显高于对照。结果表明, 随着时间变化尽管磷肥缓慢产生淋失, 但对地下水无潜在污染影响。

2.4 土柱渗滤水中钾的含量变化

从图 7 可见, 3 种处理钾的淋溶规律在整个作物生长期中钾的含量 ($0.705\text{--}14.296\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 呈下降趋势, 但淋溶含量出现的高峰均在施肥后的前期, 6 月 25 日以前。从施肥与对照比较, 低肥量处理较对照渗滤水中钾的含量曲线基本吻合, 高肥量处理较对照和低肥量处理渗滤水中钾的含量明显增加。由此说明, 钾在土壤中的淋溶取决于施肥量的高低。从不同施肥量处理看, 低肥量处理的渗滤水浓度变化范围在 $1.416\text{--}10.265\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 高肥量处理的渗滤水中浓度变化范围在 $2.609\text{--}14.296\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 如果与欧洲经济共同体颁布的饮用水质量标准中钾的最大容许浓度为 $12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以此为准, 总体水平未超标, 但从高肥量处理 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 剂量的渗滤水中钾的最大浓度是 $14.296\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 来看, 该施肥量存在着对地下水钾的污染影响。

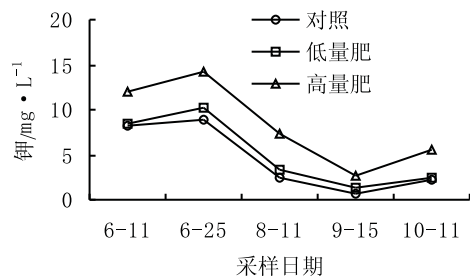


图 7 土柱渗滤水中钾的含量变化

Figure 7 Contents of potassium in leaching water from the soil column tested

从图 8 看出, 钾的渗滤累积量随时间变化和施肥量的不同相应递增, 并高于对照, 由此说明, 钾肥在土壤存在着淋失现象, 且淋溶量与施肥量呈正相关。

2.5 旱田养分淋溶规律的综合分析

渗滤水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和钾的淋溶变化规律一样, 淋溶含量均受季节性和降雨量的影响; 渗滤水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、可溶性磷和钾的淋溶累积量均随时间逐渐

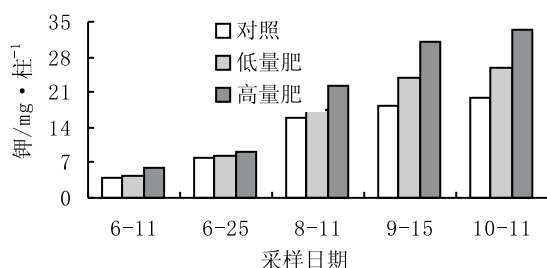


图 8 土柱渗滤水中钾的累积量变化

Figure 8 Accumulation of potassium in leaching water from the soil column tested

上升, 并且 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和钾的淋溶累积量与施肥量呈正相关, 其 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失率为 $6.46\%\text{--}15.85\%$ (按表 2 氮的施肥量计算), 钾的淋失率为 $3.913\%\text{--}6.087\%$ (按表 2 钾的施肥量计算); $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的淋溶累积量与施肥量不呈正相关, 这是由于氮肥在旱田土壤中极易发生硝化作用而造成的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 二者之间呈反比例关系的原因; 磷肥由于在土壤中以固定作用为主, 所以磷的淋溶含量很低 ($0.033\text{--}0.115\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 未扣除对照值), 较对照差异不大。

3 结论

3.1 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的淋溶与氮肥的施肥量无显著关系, 随作物生长期、季节性和雨量的多少而变化。在以 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 剂量施肥条件下, 渗滤水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量不会造成地下水的污染。

3.2 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋溶与氮肥的施肥量呈显著关系, 施肥量决定着氮肥的硝化作用强弱, 与转化 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量成正相关, 氮肥的合理施用是减少 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 淋溶的重要因素, 从本实验看, 以 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的有效氮肥量施用, 其淋失率仅为 6.46% , 可减少地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的潜在污染, 否则超量施用严重造成地下水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的污染。

3.3 可溶性磷的淋溶与对照无显著差异, 由于磷肥施入土壤中磷素易被固定, 所以施用磷肥, 对地下水无影响。

3.4 钾的淋溶取决于施肥量的高低, 从本实验结果表明, 以 $120\text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 剂量施用钾肥, 对地下水造成一定的污染。

参考文献:

- [1] 龚子同, 等. 人为作用对土壤环境质量的影响及对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 7-10.
- [2] 马立珊. 太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究[J]. 环境科学, 1987, 8(2): 60-65.
- [3] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题[J]. 土壤学报, 1989, 17: 1-9.
- [4] 李天杰. 土壤环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 248-260.
- [5] 王晓蓉. 环境化学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993. 232-242.
- [6] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 216-285.
- [7] 国家环境保护局发布. 水质分析方法标准[S]. 中华人民共和国国家标准, 1987. 63-68.
- [8] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.