

文章编号: 1674-7054(2013)03-0242-04

富磷钾矿物有机肥与过磷酸钙 在地表径流中磷的流失对比

孙红亮¹ 陈明智¹ 盖国胜² 杨玉芬² 张仙梅³ 何振全²

(1. 海南大学 农学院 海南 海口 570228; 2. 清华大学 材料学院 北京 100084;

3. 西安建筑科技大学 材料与矿业学院 西安 710055)

摘 要: 采用田间径流池法进行田间小区试验, 研究玉米地富磷钾矿物有机肥、过磷酸钙处理下地表径流中磷的流失特征。结果表明: 地表径流中总磷流失量折合为, 富磷钾矿物有机肥 $0.77 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 过磷酸钙 $1.12 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (7次采样, 总降雨量 415 mm)。当降雨量较小(26~37 mm)时, 施用富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙肥料的土壤径流液中, TP 质量浓度分别为 $0.725 \sim 1.402 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.677 \sim 1.903 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 每小区平均总磷流失量分别为 $7.18 \sim 37.62 \text{ mg}$ 和 $7.89 \sim 61.49 \text{ mg}$, 两处理间差异不明显; 当降雨量较大(76~87 mm)时, 施用富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙肥料的土壤径流液中, TP 质量浓度分别为 $0.699 \sim 1.238 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.170 \sim 2.151 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 每小区平均总磷流失量分别为 $139.3 \sim 332.3 \text{ mg}$ 和 $159.4 \sim 454.1 \text{ mg}$, 富磷钾矿物有机肥处理的均低于过磷酸钙处理的, 且差异显著。富磷钾矿物有机肥处理的土壤径流液中活性磷浓度($0.091 \sim 0.359 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 大于过磷酸钙处理的($0.066 \sim 0.327 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 但差异不显著。

关键词: 地表径流; 磷流失; 富磷钾矿物有机肥; 过磷酸钙

中图分类号: S 143.2

文献标志码: A

我国农业受到资源和环境的双重制约, 因此, 必须节约使用自然资源和生产要素, 减少污染, 保护生态环境, 铸造高产、优质、高效、生态安全的农业, 实现农业可持续发展。目前, 我国富营养化的湖泊占 63.6%, 其中 50% 以上湖泊中磷污染负荷主要来自农业面源污染, 一些农业发达地区的湖泊如太湖、巢湖、滇池等, 总磷浓度是 20 世纪 80 年代初的 10 多倍^[1-4]。磷的流失量主要受施肥、产流时段降雨量和作物覆盖率影响, 施肥导致磷养分流失量增加, 产流时段降雨量越大, 作物覆盖率越低, 则磷养分流失量越大^[5]。富磷钾矿物有机肥是以中低品位磷矿石为主要原料, 通过超微细化并进行生物复合而生产的。该肥料具有磷素缓慢释放、减少流失污染、增加作物吸收的特点。本试验以富磷钾矿物有机肥与化学磷肥为试验材料, 以一季玉米为试验周期, 研究富磷钾矿物有机肥与化学磷肥在热带地区地表径流中磷的流失差异性, 探讨富磷钾矿物有机肥料在热带地区地表径流中的流失特征, 旨在为控制化学磷肥施用, 减少污染环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 本试验安排在海口市西南边 8 km 处的海南大学试验农场, 试验地为缓坡地, 土地利用类型为旱地, 土壤类型为玄武岩砖红壤, 土壤质地为粘土。土壤速效磷质量含量 $17.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾质量含量 $5.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 地表种植甜糯玉米 (*Zea mays* L.)。

收稿日期: 2013-04-17

基金项目: 横向课题 “富磷钾矿物有机肥在热带地区生物学效应试验研究”资助

作者简介: 孙红亮(1992-) 男, 湖北武汉人, 海南大学农学院 2010 级本科生。

通信作者: 陈明智(1962-) 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: mingzhi_chen@aliyun.com

1.2 试验设计与施肥处理 处理1: 富磷钾矿物有机肥 ($w(\text{有机质}) = 20\%$, $\mu w(\text{N}) = 4\%$, $\mu w(\text{P}_2\text{O}_5) = 6\%$, $\mu w(\text{K}_2\text{O}) = 5\%$; 由山东滨州清大科技有限责任公司生产); 处理2: 单施化肥(对照)。以过磷酸钙与富磷钾矿物有机肥中磷相同计算富磷钾矿物有机肥用量, 氮和钾不足部分以氯化钾和尿素补充。使用材料: 尿素 ($w(\text{N}) = 46\%$)、氯化钾 ($w(\text{K}_2\text{O}) = 60\%$)、过磷酸钙 ($w(\text{P}_2\text{O}_5) = 12\%$)。分别1次施入富磷钾矿物有机肥、氯化钾和过磷酸钙作基肥, 尿素分2次施入, 第1次在播种之前作基肥施入, 第2次在开花之前施入。每处理重复3次, 共6个小区, 小区面积为 $6\text{ m} \times 2\text{ m}$, 每小区种植3行玉米, 行距 50 cm , 株距 30 cm , 采用随机区组设计。

整地时使地面由西往东倾斜, 试验区组之间用隔板相互隔开, 隔板高约 50 cm , 其中地下部分 30 cm , 地上部分 20 cm , 以防止降雨时各小区地表径流产生串灌及侧渗的影响。每个小区东边设置径流池, 每个小区径流池容积约 1.0 m^3 。径流池上加盖, 以防止降雨时雨水和田间小动物跌入径流池内。在试验地附近1个房子顶部放置1个雨量计架, 在降雨产生径流后计算降雨量。采水样时打开径流池盖, 将径流池中的水及泥沙搅拌均匀, 迅速采集中间部分水样 1 L , 剩余水样采用 1 L 量筒测定水的体积。采集后立即带回实验室, 放入冰箱冷藏保存。试验时间为 $2012-07-27-2012-10-07$, 共采集水样7次。

1.3 测定方法及数据处理 总磷采用碱性过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法, 可溶性磷采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法。数据处理采用 Excel 进行原始数据整理及制图, 采用 SPSS 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 施过磷酸钙和富磷钾矿物有机肥地表径流 TP 质量浓度及流失量 从图1可以看出, 除了第1和第2次降雨施富磷钾矿物有机肥地表径流 TP 质量浓度高于施过磷酸钙外, 后面几次产生的地表径流 TP 质量浓度均低于施过磷酸钙的。8月8日和10日的降雨量小, 分别为 26 mm 和 37 mm , 两处理的 TP 质量浓度较低, 分别为 $1.268\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.043\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 两处理间差异不明显; 8月25日虽然降雨量小 (33 mm), 但降雨强度大, TP 质量浓度较大, 施富磷钾矿物有机肥地表径流 TP 质量浓度低于施过磷酸钙处理的, 分别为 $1.402\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.903\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但两处理间差异未达到显著水准; 而8月16日和19日、9月6日和16日的降雨量大, 分别为 76 mm 、 78 mm 、 87 mm 、 78 mm , 两处理 TP 质量浓度较高; 方差分析表明8月16日和19日两处理间 TP 质量浓度差异极显著, 分别为 $1.043\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $2.007\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 9月6日两处理间 TP 质量浓度差异显著, 分别为 $1.238\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.669\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 9月16日两处理间 TP 质量浓度差异不显著, 分别为 $0.813\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.170\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由此可见, 当降雨量较小且降雨强度不大时, 两处理磷的淋失差异不大, 而降雨量和降雨强度较大时, 过磷酸钙中磷更容易遭受淋失, 而富磷钾矿物有机肥中的磷不易受到淋失, 反而由于径流量的增加其质量浓度降低。实验结果还表明, 玉米生长前期, 由于覆盖度小, 地面裸露较大, 两处理间差异极显著, 而玉米生长后期, 由于覆盖度增加, 两处理间的差异有变小的趋势。

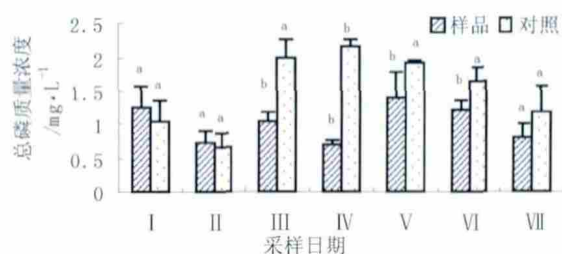


图1 不同采样期总磷质量浓度变化

Fig. 1 The changes of total P concentration at different sampling dates

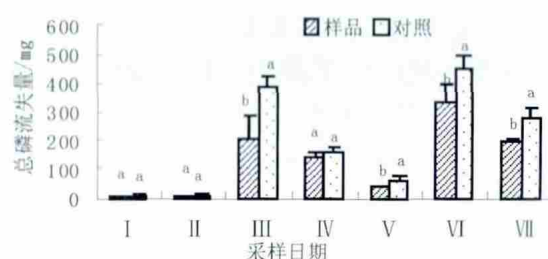


图2 不同采样期总磷流失量变化

Fig. 2 The change of total P loss at different sampling dates

注: I ~ V 分别为8月8日、10日、16日、19日和25日, VI ~ VII 分别为9月6日和16日; 小写字母表示5%显著性水平差异, 相同字母表示差异不显著; 样品为富磷钾矿物有机肥, 对照为过磷酸钙。下同

Note: I - V: August 8, 10, 16, 19, 25. VI - VII: September 6, 16; lowercase letters indicate the difference at the 5% significant level, and the same letters indicate no significant difference; samples for treatment: organic fertilizer rich in phosphorus and potassium, and the control: the SSP. Similarly hereinafter

由图 2 可知,在 3 次降雨量(8 月 8 日、10 日、25 日)较小时,第 1 和第 2 次采集的径流液中,两处理每小区总磷流失量较小,8 月 8 日和 10 日分别为 7.18、7.89 mg 和 7.33、9.05 mg,差异不显著;而 8 月 25 日降雨量虽小(33 mm),但降雨强度大,两处理每小区总磷流失量较前 2 次的大,过磷酸钙为 61.49 mg,富磷钾矿物有机肥为 37.62 mg,差异显著。其他 4 次降雨量较大时,径流液中总磷流失量均较大,除 8 月 19 日总磷流失量两处理差异不明显外(过磷酸钙 159.4 mg,富磷钾矿物有机肥 139.3 mg),其他 3 次处理的差异明显,富磷钾矿物有机肥处理的总磷流失量均小于过磷酸钙处理的。本试验 7 次采样径流液总磷流失量折合为,富磷钾矿物有机肥 $0.77 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,过磷酸钙 $1.12 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,由此可见,当降雨量和强度较大时,富磷钾矿物有机肥在土壤中较过磷酸钙更能抵御雨水的淋溶。

2.2 施过磷酸钙和富磷钾矿物有机肥地表径流活性磷质量浓度及流失量 由图 3 可以看出,第 1 和第 2 次径流液中,富磷钾矿物有机肥处理的活性磷质量浓度低于过磷酸钙处理的,8 月 8 日和 10 日的过磷酸钙质量浓度分别为 $0.322 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.327 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,富磷钾矿物有机肥质量浓度分别为 $0.278 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.310 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;而后面几次径流液中,则是富磷钾矿物有机肥处理的活性磷质量浓度比过磷酸钙处理的高。但是,方差分析表明,无论是前面 2 次的还是后面几次的,两处理间的活性磷质量浓度差异均不显著。

由图 4 可知,8 月 8 日、10 日和 25 日降雨量较小,采集的径流液中每小区活性磷流失量较少,两处理间差异不明显,过磷酸钙处理的活性磷流失量分别为 2.24、4.20 和 6.23 mg,富磷钾矿物有机肥处理的分别为 1.59、2.45 和 5.92 mg,方差分析表明,它们之间差异不显著;其他 4 次降雨量较大时,采集的径流液中每小区活性磷流失量较大,且两处理间差异较大,富磷钾矿物有机肥处理的均大于过磷酸钙处理的,8 月 19 日和 9 月 6 日,过磷酸钙处理的活性磷流失量分别为 18.75、32.77 mg,富磷钾矿物有机肥处理的分别为 37.16、55.75 mg,差异显著。8 月 16 日和 9 月 16 日,过磷酸钙处理的活性磷流失量分别为 54.40、16.15 mg,富磷钾矿物有机肥处理的分别为 73.00、21.98 mg,差异不显著。

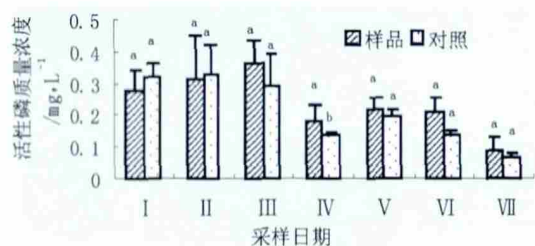


图 3 不同采样期活性磷质量浓度变化

Fig. 3 The changes of available P concentration at different sampling dates

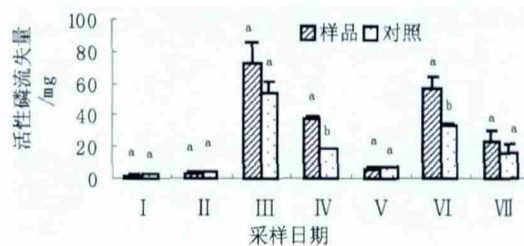


图 4 不同采样期活性磷流失量变化

Fig. 4 The change of available P loss at different sampling dates

由以上分析可知,富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙刚施入土壤时,由于过磷酸钙中的磷是属于速效性的,在土壤中活性较大,且刚播种后几天就下雨,所以,过磷酸钙处理的土壤中有较多的游离磷被流失,而富磷钾矿物有机肥中的磷活性相对较弱,流失较小,因此,径流液中过磷酸钙处理的总磷质量浓度以及活性磷流失量均比富磷钾矿物有机肥处理的大;但随着时间推移,过磷酸钙中游离的磷容易被土壤固定为难溶性磷,而富磷钾矿物有机肥则一直缓慢地释放出活性磷,因此,此后富磷钾矿物有机肥处理的土壤活性磷质量浓度较大,表现出了径流液中活性磷质量浓度和活性磷流失量均大于过磷酸钙处理的趋势,但是,它们之间差异不显著。

3 讨论

种植玉米的地块,地表径流产生后,当降雨量较小时(26~37 mm),施用富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙肥料的土壤径流液中总磷质量浓度的差异不明显,分别为 $0.725 \sim 1.402 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.677 \sim 1.903 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;当降雨量较大时(76~87 mm),两处理的总磷质量浓度则出现显著的差异,富磷钾矿物有机肥处理的总磷质量浓度均低于过磷酸钙处理的,分别为 $0.699 \sim 1.238 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.170 \sim 2.151 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当降雨量较小时(26~37 mm),施用富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙肥料的土壤径流液中每小区总磷流失量较小,

分别为 7.18 ~ 37.62 mg 和 7.89 ~ 61.49 mg, 差异不显著; 随降雨量的增加 (76 ~ 87 mm), 两处理的土壤总磷流失量加大, 富磷钾矿物有机肥处理的总磷流失量比过磷酸钙处理的低, 分别为 139.3 ~ 332.3 mg 和 159.4 ~ 454.1 mg, 差异显著。富磷钾矿物有机肥和过磷酸钙处理的土壤径流液中, 每小区活性磷质量浓度分别为 0.091 ~ 0.359 mg · L⁻¹ 和 0.066 ~ 0.327 mg · L⁻¹, 差异不显著; 富磷钾矿物有机肥处理的土壤径流液中活性磷流失量均大于过磷酸钙处理的, 分别为 1.59 ~ 73.00 mg 和 2.24 ~ 54.40 mg, 除 8 月 19 日和 9 月 6 日的达显著差异外, 其余均未达显著差异。过磷酸钙施入土壤后, 肥料中的水溶性磷易被固定在土壤微粒中从而随颗粒流失而损失, 而富磷钾矿物有机肥由于制成球状颗粒, 且难溶, 养分以缓效为主, 养分随作物的吸收从大颗粒中缓慢而持续地释放出来, 不易随微粒流失损失, 尽管富磷钾矿物有机肥处理的活性磷浓度和流失量均大于过磷酸钙处理的, 但磷主要以颗粒态磷形式流失, 其次是可溶性磷, 尤其在产流时段降雨量大的年份, 颗粒态磷的流失量占总磷的 90% 以上^[5], 活性磷流失量在总磷流失量中只占小部分, 由此可见, 施用富磷钾矿物有机肥比施用过磷酸钙肥料能减少在地表径流中磷的流失。

参考文献:

- [1] 晏维金, 尹澄清, 孙濮, 等. 磷氮在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 312-316.
- [2] 吴炳方. 水田植物营养素的流失与控制措施[J]. 环境科学, 1991, 12(3): 88-91.
- [3] 马立珊. 苏南太湖水系农业非点源氮污染及其控制对策研究[J]. 应用生态学报, 1992, 3(4): 346-354.
- [4] 屠清瑛, 顾丁锡, 尹澄清, 等. 巢湖: 富营养化研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990: 101-125.
- [5] 段小丽, 张富林, 张继铭, 等. 江汉平原棉田地表径流氮磷养分流失规律[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 49-53.

Comparison of Phosphorus Loss Between the Organic Manure Containing High Phosphorus and Potassium and the Calcium Superphosphate in the Runoff of Ground Surface

SUN Hongliang¹, CHEN Mingzhi¹, GAI Guosheng², YANG Yufen², ZHANG Xianmei³, HE Zhenquan²

(1. College of Agriculture, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. College of Materials Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. College of Materials Science and Mineral Resource, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The field runoff pool for field plot experiment was used to study the loss characteristics of phosphorus of surface runoff in the corn field treated with organic manure containing high phosphorus and potassium, and fertilizer calcium superphosphate. The organic manure and the fertilizer calcium superphosphate treatments had a total surface runoff loss of phosphorus of 0.77 kg · ha⁻¹ and 1.12 kg · ha⁻¹, respectively under the total rainfall of 415 mm. At low rainfall (26-37 mm), the total phosphorus concentrations in the runoff liquid were 0.725-1.402 mg · L⁻¹ and 0.677-1.903 mg · L⁻¹, respectively, and the total phosphorus losses were 7.18-37.62 mg and 7.89-61.49 mg, respectively. There was no significant difference between the two treatments. At higher rainfall (76-87 mm), the total phosphorus concentration of the runoff liquid in both treatments was 0.699-1.238 mg · L⁻¹ and 1.170-2.151 mg · L⁻¹, respectively, and the total phosphorus loss was 139.3-332.3 mg and 159.4-454.1 mg, respectively. The changes in total phosphorus concentration and total phosphorus loss were significantly lower in the organic manure treatment than in the calcium superphosphate treatment. However, the active phosphorus concentration of the runoff liquid was higher in the organic manure treatment (0.091-0.359 mg · L⁻¹) than in the calcium superphosphate treatment (0.066-0.327 mg · L⁻¹), but there was no significant difference between these two treatments.

Key words: surface runoff; phosphorus loss; organic manure high in P and K; calcium superphosphate