

自然降雨条件下紫色土区磷素的非点源输出规律

李庆召¹, 王定勇², 朱 波³

(1. 郑州航空工业管理学院, 河南 郑州 450015; 2. 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; 3. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 2003 年 8 月 8 日在中国科学院盐亭紫色土研究站采集动态降雨径流样并进行分析, 研究了紫色土区典型土地利用方式下磷素的非点源输出规律。结果表明, 在该区各形态的磷随地表径流的输出不一定随时间递减。旱地径流输出主要以颗粒吸附态磷素为主。水田在该区中因降雨引起的磷素迁移而造成的非点源污染不可忽视, 其磷酸盐随径流的排放浓度在 $0.06\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右波动, 远超过富营养化的警戒线浓度 $0.02\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 溶解性磷与磷酸盐随径流迁移的浓度均达水体富营养化的警戒线。

关键词: 紫色土; 自然降雨; 径流; 磷; 磷酸盐

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)06 – 1050 – 03

The Rule of Phosphorus Load with Runoff in Purple Soil by Not – point Source Way

LI Qing-zhao¹, WANG Ding-yong², ZHU Bo³

(1. Department of Environment Engineering, Zhengzhou Institute of Aviation, Zhengzhou 450015, China; 2. College of Resources and Environment, South – west Agricultural University, Chongqing 400716, China; 3. Institute of mountain Hazards and Environment CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: With much more emphases having been put on cases of environment and resources recently, the studies on transfer rule for nutrient and pollutant in agricultural area between soil and water are getting more and more important. As the readily losing nutritional element, P is the studying hot in the field of environmental science. Quite a few researches on P transfer have been focused on red soil, brown soil, black soil and so on, but the studies on purple soil in south – west China are infrequent. The research was carried out in purple soil agricultural ecology system institution in Yanting to study the rule of P transfer in purple soil agricultural area. The rainfall samples were obtained every 5 min in the first 15 min, and then the time interval adjusted to 30 min in Aug 2003 when the rain continued for about 150 min and the rainfall came to 50 mm. The loading phosphorus in runoff didn't decreased with time constantly. In this area, the highest load of P – pollutants occurred in paddy field. Among all kinds of P – pollutants, the content of dissolve phosphorus and ortho – phosphrous in runoff were much beyond warning concentration for eutrophication, with the concentration of ortho – phosphrous fluctuating around $0.06\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. When taking measures to resolve NPSP (none point source cultivate manner pollution) in the area, we should pay attention to the load of dissolve phosphorus and ortho – phosphrous.

Keywords: purple soil; runoff; P – pollutants; ortho – phosphrous

以往养分流失方面的研究大多集中在南部一些红壤、黄壤区域以及北方的褐土、黑土区域,而对西南地区的紫色土区域的相关研究鲜见,尤其是紫色土区域农业生态体系磷素循环方面的研究更是不多。因此

选择紫色土区域来研究养分循环,旨在为该区域的农业发展与环境保护相互协调提供一定的依据。小流域养分径流输出试验区设在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站,该区位于四川盆地中北部的盐亭县林山乡,地处涪江支流弥江、湍江的分水岭上,面积 34.64 hm^2 。该区属于中亚热带湿润季风气候,年均气温 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,高于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温 $5\,000\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨 836 mm ,无霜期 297 d 。该区土壤为水稻土和钙质紫色土,质地为中壤至重壤^[1]。土壤含 Ca-

收稿日期: 2004 – 04 – 20

基金项目: 中科院创新项目: 川中紫色土区 N、P 水土界面交换规律及其非点源污染负荷(KZCX2 – 413 – 5)

作者简介: 李庆召(1976—),男,河南许昌人,硕士,主攻环境污染化学方向。E-mail: leeqz@eyou.com

CO₃(13.16±0.48)%，有机质 (0.78±0.07)%，全磷 (0.018±0.03)%，速效 N、P、K 分别为 (44.72±4.44)、(102.64±5.91)、(6.94±1.02) mg·kg⁻¹。

1 调查与研究方法

根据集水区地形和作物状况，在北坡、南坡和东坡农地大体分为高中低 3 个台位。低台位位于集水区底部，为水田(包括冬水田、两季田)，种植小麦油菜和水稻；中台位位于集水区中部为成片旱地；高台位位于集水区上部，种植的也是旱地作物。庭院村落位于西台位。集水区底部有一条纵贯全区的排水沟，集水区中的稻田在降雨时便向排水沟溢水，通过这个途径稻田中的氮磷污染物进入排水沟。选择集水区中水田排水沟和区中的一个堰塘(位于集水区一侧，注入的主要是旱地径流)入口以及一个林地径流场为研究对象。

2003 年 8 月 8 日，在降雨量为 50 mm，持续时间约 150 min 的情况下，从降雨产流到径流停止过程中不同时间段采集径流水进行分析测定。采样频度为从产流开始记时，0、5、15、30、60、120 min 等不同时间段各采 1 次，测定样品中各种形态磷素的含量，同时采用滤纸法测出径流中的泥沙量^[2]。水中的全磷(TP)用过硫酸钾氧化法测定^[3]，将水样经 0.45 μm 的滤膜过滤后再用过硫酸钾氧化测出水溶性磷(DP)，经 0.45 μm 的滤膜过滤的水样直接用钼锑抗比色测定磷酸盐(PO₄³⁻-P)，颗粒吸附态磷(PP)可根据下边公式求出：PP=TP-DP。

2 结果与讨论

2.1 典型土地利用方式下泥沙的径流输出规律

图 1 所示为从产流开始不同时间段径流中泥沙浓度的变化。泥沙浓度因地表下垫面的差异而呈不同的变化趋势，整体来看，旱地在产生地表径流过程中携带的沉积物量最多，且整个过程中沉积物浓度变化从 0~6.14 g·L⁻¹，浮动比较大，在产流后的 10 min 时达到最高值；林地形成的径流量也小，在 15 min 后径流停止，林地和稻田径流过程中携带的泥沙量最少，且整个过程沉积物含量变化趋势比较平缓。水田中沉积物的输出浓度保持在 1 g·L⁻¹ 以内，而林地中沉积物的径流输出浓度始终接近于零。

径流中的泥沙对磷有吸附富集作用。颗粒吸附态的磷随地表径流搬运迁移是磷的主要流失形式。这些泥沙所富集的磷注入地表水后，将成为水体富营养化

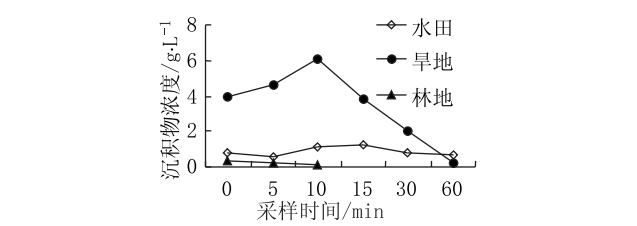


图 1 典型土地利用方式下沉积物在径流中的动态曲线
Figure 1 Dynamic curves of SS in runoff load under different land uses

的潜在的内部污染^[4]，因此通过研究地表径流泥沙可以了解颗粒态磷的流失状况。不同景观斑块上的产流过程是系统土壤物质、土壤前期含水量、地理地形以及植被覆盖度的综合函数，3 个样点中林地径流场最先产流，集水区出口处的稻田产流时间次之，堰塘的径流注入主要是旱地，产流的时间最慢。以上因素不仅制约产流的时间，而且对径流中沉积物含量有很大影响。

2.2 典型土地利用方式下径流中总磷(TP)的流失动态

如图 2 所示，典型土地利用方式下总磷输出浓度基本趋势是随降雨过程呈递减变化，旱地径流全磷输出在产流 10 min 时达到峰值，而后逐渐降低，在第 15 min 后全磷趋于稳态输出。林地径流中总磷的流失量明显小于水田和旱地。由于降雨时正处于水稻分蘖期，稻田田面水量较多，因此降雨产生的径流量比较大，另外由于水田中高水平磷肥的施入，使土壤中水浸提磷水平相应提高，稻田水磷素的含量也随之提高。上述因素综合作用大大提高了水田中总磷的流失量。从图 2 可以看出整个径流过程中全磷输出波折较大，且出现 2 个峰值，其输出浓度均在 0.15 mg·L⁻¹ 以上。

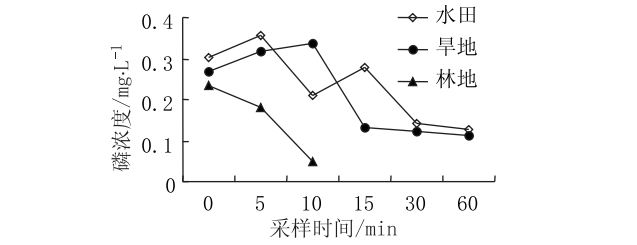


图 2 典型土地利用方式下全磷动态输出曲线
Figure 2 Dynamic curves of TP in runoff load under different land uses

2.3 径流中水溶性磷(DP)与磷酸盐(PO₄³⁻-P)的流失动态

水溶性磷与磷酸盐在径流中浓度变化趋势上比较平缓，如图 3、图 4 所示。水田排水和林地径流中水溶性磷的含量分别保持在 0.06 mg·L⁻¹ 和 0.02 mg·L⁻¹ 左右，没有大幅度变化。旱地中，雨水与土壤

在表层内充分混合形成径流,这一深度内土壤中磷在土壤—降雨作用下不断解吸,随径流迁移。随着降雨径流的不断进行,土壤中磷的溶解吸附将达到新的平衡^[5],图 4 中的曲线可以明显表示出这个过程。在径流发生 30 min 后,土壤对磷的吸附解吸达到新的平衡,水溶性磷随径流的迁移浓度逐渐稳定下来。3 个样点径流中磷酸盐的含量差别比较明显,水田> 旱地> 林地,且浓度随径流发生时间推移不呈线性递减变化。另外该地区各种景观斑块中总磷的输出量总体不高,其浓度小于 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而溶解性磷与磷酸盐的随径流迁移的浓度均达水体富营养化的警戒线,其造成的地表水污染已较为突出。

2.4 径流中不同形态磷素的动态输出比较

川中丘陵区典型土地利用方式下各形态磷素径流输比较结果,如表 1 所示。从表中可以看出,在该区中水田因降雨引起的磷素迁移而造成的非点源污染

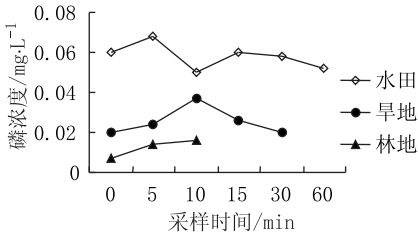


图 3 典型土地利用方式下磷酸盐在径流中浓度变化曲线
Figure 3 Dynamic curves of DP in runoff load under different land uses

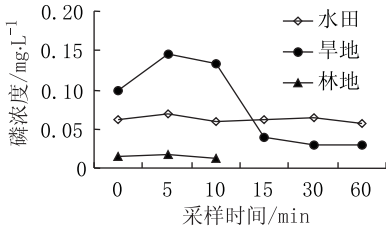


图 4 典型土地利用方式下水溶性磷在径流中输出的动态曲线
Figure 4 Dynamic curves of DP in runoff load under different land uses

表 1 典型土地利用方式下各形态磷素径流输出比较 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

时间/min		旱地			水田			林地		
		TP	PP	DP	TP	PP	DP	TP	PP	DP
0		0.30	0.24	0.06	0.27	0.17	0.10	0.23	0.22	0.02
0~5		0.35	0.29	0.07	0.31	0.17	0.15	0.18	0.16	0.02
5~10		0.21	0.15	0.06	0.34	0.21	0.13	0.05	0.04	0.01
10~15		0.28	0.22	0.06	0.13	0.09	0.04	—	—	—
15~30		0.14	0.08	0.06	0.12	0.09	0.03	—	—	—

不可忽视,其输出形式以水溶态为主,约占全磷的 60% 以上。旱地径流磷输出颗粒磷态占全磷的比率在 80% 以上,在该区,林地地下层草本植物植被覆盖度不高,从而造成林地颗粒态磷输出比率比较高。

3 结语

在该地区各种景观斑块中,总磷的输出量总体不高,其浓度小于 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,但溶解性磷与磷酸盐随径流迁移的浓度均达水体富营养化的警戒线,特别是水田磷酸盐随径流的排放浓度在 $0.06\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右波动,远超过富营养化的警戒线浓度 $0.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1[6]}$,其造成的地表水污染已较为突出。该区地处长江中上游,水土流失与农业非点源磷素迁移不仅使本地土地退化,而且对长江中下游乃至未来北方供水带来负面影响。因此,了解土壤磷素流失的途径及主要形式,有利于人们在农业活动过程中,采取正确的农业措施,

在开发利用农业资源、发展农业生产的同时,减少或避免土壤磷的流失。可以对紫色土进行有效开发与保护,促进紫色土农业的可持续发展,建设长江上游生态屏障,保护长江水质。

参考文献:

[1] 张先婉,朱 波. 中国科学院盐亭紫色土农业生态实验站建站 20 周年回顾[J]. 山地学报,2001,19 (增刊):1-3.

[2] 王继增,万洪福,吴志锋,等. 小流域非点源污染负荷流失特征监测研究[J]. 水土保持通报,2003,23(1):56-59.

[3] 晏维金,章 中,唐以剑. 模拟降雨条件下沉积物对磷的富积机理[J]. 环境科学学报,2000,20(3):332-337.

[4] 谢贤群,王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社,1998. 275-278.

[5] 吕贤贤,张思从. 基于汛期土壤养分的非点源污染模型的初步研究[J]. 水资源保护,1996, (4):37-40.

[6] 司有斌,王慎强,陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤,2000,4:188-193.