

不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响

张兴昌, 刘国彬, 付会芳(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西省杨陵区 712100)

摘要: 以 8.27km² 纸坊沟流域 1: 400 比例模型为研究对象, 在人工控制条件下, 模拟天然降雨(降雨强度 2mm/m in, 历时 30m in), 研究不同植被覆盖度对流域氮素流失的影响, 揭示小流域土壤氮素随径流流失规律. 研究表明: 当流域植被覆盖度分别为 60%、40%、20% 和 0% 时, 土壤铵态氮流失量分别为 87.08、44.31、25.16 和 13.71kg/km²; 硝态氮流失量分别为 85.50、74.05、63.95 和 56.23kg/km²; 而流域有机质流失量为 15.67、24.02、44.68 和 164.87; 全氮流失量为 0.81、1.18、1.98 和 7.51t/km². 产流过程中径流及泥沙中氮素含量随产流时间的延长呈下降趋势, 而流失累积量呈逐渐增大趋势. 植被覆盖虽能有效减少土壤侵蚀和全氮的流失, 却能增加土壤矿质氮的流失.

关键词: 小流域模型; 植被覆盖度; 氮素流失.

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)06-04-0016

Soil Nitrogen Losses of Catchment by Water Erosion as Affected by Vegetation Coverage

Zhang xingchang, Liu Guobin, Fu Huifang(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shanxi Province 712100, China)

Abstract The Zhifang gully catchment, which model was established by 1: 400 scales, has area of 8.27km². Under controlling artificially rainfall with intensity of 2mm/m in and lasting 30m in, the soil erosion and N loss of catchment model was studied for revealing the catchment N loss in runoff and sediment as effected by vegetation coverage. The results show that loss amounts of runoff ammonium and nitrate were 87.08, 44.31, 25.16, 13.71kg/km² and 85.50, 74.05, 63.95, 56.23kg/km² respectively in vegetation cover ratios of 60%, 40%, 20% and 0%. The loss amounts of sediment organic matter and total N were 15.67, 24.02, 44.68, 164.87t/km² and 0.81, 1.18, 1.98, 7.51t/km² respectively. With delay of runoff-yield time, the nitrogen concentrations in runoff and sediment drop off, whereas, the accumulation amounts of nitrogen loss rise gradually. Vegetable cover on soil is an available method to control soil erosion and total N loss, nevertheless, it might enhance soil mineral nitrogen loss.

Keywords: catchment model; vegetation coverage; nitrogen loss

以流域为研究单元, 研究流域土壤侵蚀和养分流失规律方兴未艾^[1-6]. 流域面积较大, 降雨、地貌、土壤、植被等因素较为复杂且很难调控, 给流域土壤侵蚀和养分流失规律的研究造成一定的困难. 国内具有代表性的研究是蒋定生^{*}等人, 于 1997 年建立了纸坊沟流域模型, 并以人工降雨为手段, 来研究不同治理措施下流域土壤侵蚀规律.

将流域植被覆盖度作为评价流域综合治理效益的指标, 已被黄土高原综合治理试验示范区广泛采用. 以径流小区为研究对象, 进行植被

盖度与水土流失关系的研究也在同时开展, 一致的结论^[8,9]认为, 植被覆盖度愈高, 水土流失愈少. 由于研究手段的限制, 迄今为止, 有关流域植被覆盖度与土壤氮素流失关系的研究, 尚未见报道.

基金项目: 国家自然科学基金项目(49871049); 中国科学院特别支持项目(K295T-04-01), 中国科学院重大研究项目(KZ951-B1-211)和中国科学院“西部之光”人才培养项目
作者简介: 张兴昌(1965~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为土壤侵蚀和氮素营养.
收稿日期: 1999-12-21
* 周群英. 小流域综合治理模型试验研究, 中国科学院、水利部水土保持研究所硕士毕业论文, 1997

本研究利用纸坊沟流域模型,在人工降雨下,研究流域不同植被覆盖度对土壤氮素流失的影响,旨在揭示流域土壤氮素流失规律,为流域范围内综合治理提供科学依据。

1 试验设计与测定

1.1 试验设计

(1) 纸坊沟流域模型的设计与建造 根据纸坊沟流域 1/5000 地形图,确定流域的边界和内部特征地物的坐标和高差,按比例缩小 1/400,并在平整好的地面上将流域水平二维形状放样。然后用砖筑砌边墙,水泥砂浆抹面防渗。边墙高度均高于对应流域分水线 15 cm。为了分散降雨,防止流域模型外降水溅入模型内,用水泥沙浆将边墙顶部砌成三角形。边墙作好后,在边墙内侧用油漆勾出流域边界各控制点高度,作为填土的控制线。清除模型底部杂草、碎石,并松表土 20 cm,然后回填黄土母质,分层夯实,土壤容重控制在 1.3 g/cm^3 。填土高度均高出流域边界控制线 5 cm,便于流域模型微地貌的制作。填土边界达到预定高程后,设置沟道中心线和地貌边沿线位置,比照地形图,按比例尺雕刻出模型微地貌形态,使模型地貌与原型地貌相似。并在模型上,按一定治理度配置治理措施(包括生物、工程和耕作措施)。模型作好后,在流域水系出口处修建径流观测设施。

该模型于 1997 年作完几场人工降雨产流后,杂草丛生。1998 年 9 月根据研究需要,对杂草进行清理并控制植被覆盖度分不同等级。

(2) 人工降雨设施 在模型上安装一台往复式人工降雨装置,并在模型旁修建一盛水池,容量为 50 m^3 ,试验前盛满清水,并测定水中矿质氮 $\text{CNH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量。用压力泵作为模型降雨供水动力,调控压力表,并控制人工降水强度。

(3) 试验处理 模型植被度控制到 60%、40%、20% 和 0% 4 个级别,每种盖度仅作 1 次人工降雨,降雨强度均控制在 2 mm/min ,降雨 30 min 。每次人工降雨前,采模型土样 5 个,供室内分析用。在每次产流过程中分 12 次采集径

流泥水样并记录径流量。相邻两次降雨时间为 7 d。

1.2 分析方法

收集的泥水样一部分过滤,给滤液加 2~3 滴二甲苯和 2 滴 6 mol/L HCl ,以防水中硝化和反硝化反应,将水样放置于冰箱中,保持温度在 $2 \sim 3^\circ\text{C}$;另一部分泥水样澄清、倾水,将泥样风干,并测定水分含量。用 2 mol/L KCl 浸提土壤和泥沙样中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,用连续流动分析仪测定水样和泥样中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$;泥沙和土壤有机质分析采用重铬酸钾外加热氧化法, TN 采用半微量开氏法。

2 结果分析与讨论

2.1 不同植被覆盖度对径流泥沙中氮素浓度的影响

当降雨强度和降雨量一致时,径流液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和矿质氮($\text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}$) 浓度随产流时间的推移呈逐渐下降趋势(表 1)。在原模型土壤矿质氮含量基本一致情况下(表 2),随流域模型植被覆盖度的增加,径流液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度在逐渐增大。表明植被覆盖可增加流域径流液中矿质氮含量。原因在于径流中矿质氮浓度的大小主要取决于径流对土壤表层矿质氮的稀释作用和径流在坡面传递过程中与矿质氮的相互作用,当相互作用大于稀释效应时,径流中矿质氮浓度增加。随植被覆盖度的增大,0% 植被盖度仅比 60% 植被盖度增加径流 23.2%,在增加了雨水的入渗和减少产流的同时(表 3),加剧了径流与表层土壤的相互作用^[8,9],相互作用的结果加速了土壤溶液中矿质氮向径流释放。植被覆盖条件下,流域径流与表层土壤矿质氮的相互作用大于其稀释作用,随植被盖度的增加,径流矿质氮浓度逐渐增加。

侵蚀泥沙通常由团聚体和不同粒径土壤颗粒组成^[9,10],内聚土粒(cohesive soil)通常以团聚替形式存在,反之非内聚土粒(uncohesive soil)以土壤颗粒存在^[11]。径流在土壤表面传输特性决定了土壤侵蚀过程中首先搬运土壤表层细颗粒,其原因在于土壤细颗粒易在径流

表 1 产流时间与径流泥沙中氮素浓度的相关性¹⁾

Table 1 The relationships between the runoff-yielded time and the nitrogen contents in runoff and sediment

植被覆盖度/%	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻	有机质	全氮
60	- 0.8225	- 0.7052	- 0.7673	- 0.7489	- 0.5700
40	- 0.0965	- 0.8766	- 0.8252	- 0.7231	- 0.8163
20	- 0.9271	- 0.6257	- 0.4590	- 0.9343	- 0.8833
0	- 0.5117	- 0.56722	- 0.4202	- 0.9348	- 0.8815

1) $r_{0.05} = 0.5760$, $r_{0.01} = 0.7079$, $n = 12$

表 2 不同植被覆盖度对径流中矿质氮浓度的影响¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 2 The mineral nitrogen contents in runoff as affected by the vegetation coverage

植被盖度/%	NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N			NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻		
	土壤(S)	径流(R)	R: S/%	土壤(S)	径流(R)	R: S/%	土壤(S)	径流(R)	R: S/%
60	9.9	2.1	21.2	9.6	2.4	25.0	19.5	4.5	23.1
40	10.0	1.0	10.0	9.8	1.6	16.3	19.8	2.6	26.5
20	10.3	0.5	4.9	10.0	1.4	14.0	20.3	1.9	9.4
0	9.9	0.3	3.0	9.9	1.1	11.1	19.8	1.4	7.1

1) 土壤中氮素的含量是 5 个采样点的平均值

表 3 不同植被覆盖度对泥沙有机质和全氮浓度的影响¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 3 The organic matter and total nitrogen contents in sediment as affected by the vegetation coverage

植被覆盖度/%	有机质			TN		
	土壤	泥沙	ER	土壤	泥沙	ER
60	11.0	24.4	2.22	0.65	1.25	1.92
40	10.8	27.2	2.52	0.68	1.33	1.96
20	12.1	29.4	2.43	0.64	1.30	2.03
0	10.1	22.1	2.19	0.60	1.01	1.68

1) 土壤中氮素的含量是 5 个采样点的平均值.

液中传输,使侵蚀泥沙通常趋于粘粒富集和所吸附化学元素富集^[13,14],泥沙养分富集程度的大小可用养分富集率(ER)表示^[12].植被对坡面径流的阻碍作用,加剧泥沙细颗粒的富集,在一定程度上,增加泥沙有机质和全氮的富集(表 3,4).

2.2 不同植被覆盖度对氮素流失的影响

植被覆盖对径流、泥沙及其氮素含量双重影响的结果,导致了流域氮素流失迥然不同(表 4),具体为:随产流时间的推移,不同植被盖度氮素的流失累积量呈增加趋势,但不同盖度对矿质氮和全氮流失影响迥然不同.随植被盖度

的增加,矿质氮流失加剧,不同植被铵态氮流失相差较大,而硝态氮相差较少且在整个产流过程平稳;泥沙有机质和全氮流失随植被盖度的增加呈下降趋势.

随流域植被盖度的增加,径流和侵蚀量均呈递减趋势,与侵蚀情况一样,泥沙全氮和有机质流失量亦呈递减趋势,而 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 流失却呈递增趋势,植被覆盖并不能减少土壤矿质氮的流失.

3 结语

流域土壤侵蚀和氮素流失受诸多因素影响,在其他因素相对一致下,通过控制流域植被覆盖度,在人工控制降雨条件下,研究不同植被覆盖度对流域土壤氮素流失的影响多数研究^[15~17]认为植被覆盖可有效地减少土壤侵蚀,并将植被减蚀作用归结于植被茎叶对降雨的截留作用、植被根系对土壤的固结作用和植被对径流传递的阻碍作用.但由于土壤全氮多是有机氮,且主要和土壤颗粒结合,因此,植被在防止土壤颗粒流失的同时,相应地减少了土壤全氮的流失,减少作用随覆盖度的增大而增加;土壤矿质氮(NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N)不同于全氮,主要存在于土壤液相中(NO₃⁻-N)和吸附于土壤

表 4 不同植被覆盖度对氮素流失的影响/ $t \cdot km^{-1}$

Table 4 The nitrogen losses in runoff and sediment as effected by the vegetation cover ratio

植被覆盖度/%	径流矿质氮流失				泥沙有机质和全氮流失		
	径流量/ $m^3 \cdot km^{-2}$	NH_4^+-N	$NO_3^- -N$	$NH_4^+ + NO_3^-$	侵蚀量	有机质	TN
60	4071.5	0.08708	0.08550	0.1509	642.8	15.67	0.81
40	45666	0.04431	0.07405	0.1184	883.4	24.02	1.18
20	46315	0.02516	0.06395	0.0891	1520.0	44.68	1.98
0	50145	0.01371	0.05623	0.0699	7449.0	164.87	7.52

颗粒表面(NH_4^+-N), 随径流流失主要取决于径流量的大小和径流与表层土壤颗粒相互作用的强度和时间. 植被覆盖率从 0% 到 60%, 径流量仅减少 18.9%, 而降雨结束后, 产流滞后时间从 1.5m in 增加到 10.2m in, 增加了 5.8 倍, 径流中矿质氮的浓度从 $1.4mg \cdot kg^{-1}$ 增加到 $4.5mg \cdot kg^{-1}$, 增加了 2.2 倍, 结果表现为: 随植被覆盖度的增加, 流域土壤矿质氮流失加剧. 至于径流与表层土壤矿质氮素相互作用强度、机理尚需待进一步的研究.

致谢 水土保持研究所吴瑞浚实验师、翟连宁实验师和马炳召同志参加部分野外试验和室内分析工作, 西北农业大学李生秀教授审阅全文, 并提出宝贵意见, 向他们表示衷心的感谢.

参考文献:

1 Pimental D. World Soil Erosion, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993. 1~ 5.

2 Lal R. Research and development priorities in soil degradation. Advance in Soil Science, 1990, (2): 331~ 336.

3 Frye W W. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. Soil Sci Soc. Am. J., 1985, 46: 1051~ 1055.

4 Bramble B M. Changes in soil productivity related to changing topsoil depths on two Idaho Palouse soil. In Erosion and soil productivity. Michigan, USA: ASAE Public. 1985. 18~ 27.

5 Jackson W A, Asmussen R J, Ellis D F. Nitrate in surface and subsurface flow from a small agricultural watershed. J. Environ. Qual., 1973, 2: 480~ 482.

6 Schuman G E, Burwell R E, Piest R F, Spomer R G. Nitrogen losses in surface runoff from agricultural watersheds on Missouri valley Loess. J. Environ. Qual., 1973,

2: 299~ 302.

7 Burwell R E, Timmons D R, Holt R F. Nutrient transport in surface runoff as effected by soil cover and seasonal periods. Soil Sci Soc. Am. Proc., 1975, 37: 523~ 538.

8 Castillo V M. Runoff and soil loss to vegetation in a semiarid environment. Soil Sci Soc. Am. J., 1997, 61: 1116~ 1121.

9 Meyer L D, Foster G R, Nikolov S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. Trans. ASAE. 1975, 18: 905~ 911.

10 Loch R J, Donnollan T E. Field rainfall simulator studies on two clay soils of the daring downs, Queensland. II. Aggregate breakdown, sediment properties and soil erodibility. Aust. J. Soil Res., 1982, 21: 47~ 58.

11 Cogo N P, Moldenhauer W C, Foster G R. Tillage-induced roughness and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. Soil Sci Soc. Am. J., 1983, 42: 1005~ 1008.

12 Burwell R E. Nutrient transport in surface runoff as effected by soil cover and seasonal periods. Soil Sci Soc. Am. Proc., 1975, 37: 523~ 538.

13 Alberts E E. Physical and chemical properties of erosion. Adv. Agron., 1990, 15: 303~ 316.

14 Gregory F. Nitrogen and phosphorus in eroded sediment from corn and soybean tillage system. J. Environ. Qual., 1991, 20: 663~ 670.

15 Dilaha T A. Vegetative filter strips for agricultural non-point-source pollution control. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989, 32: 513~ 519.

16 Chaubey I. Effectiveness of VFS in controlling losses of surface-applied poultry litters constituents. Tran. of the ASAE, 1985, 38(6): 1687~ 1692.

17 Doyle R C, Stanton G C, Wolf D C. Effectiveness of forest and grass filters in improving the water quality of manure polluted runoff. Paper No. 77~ 2501. St. Joseph, Mich.: ASAE, 1977.