

坡度对坡面土壤矿质氮素水蚀流失负荷的影响

张亚丽^{1,2}, 李怀恩¹, 张兴昌², 肖波²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 坡度是影响坡面水土流失和土壤养分流失过程的重要因素。室内模拟降雨试验表明, 当坡长一定时, 不仅土壤侵蚀量存在一个“侵蚀临界坡度”, 土壤矿质氮流失量随坡度变化也存在一个“养分流失临界坡度”。试验测定这 2 个临界坡度均在 15° ~ 20° 之间。土壤矿质氮地表流失以随地表径流流失为主, 约占总流失量的 99%。坡面矿质氮总流失量的 96% 为硝态氮, 硝态氮对径流中矿质氮总量的贡献率明显高于在侵蚀泥沙中的贡献率。采取一定的截流措施是控制坡面矿质氮流失的关键。

关键词: 坡度; 矿质氮素; 水土流失; 临界坡度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)02-0014-04

中图分类号: S175.1

Soil Mineral Nitrogen Loss in Surface Runoff and Sediment as Affected by Slope Gradient on Loess Slope

ZHANG Ya-li^{1,2}, LI Hua-en¹, ZHANG Xing-chang², XIAO Bo²

(1. Northwest Water Resources and Environment Ecology Key Laboratory of MOE, Xi'an University of Technology,

Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, State Key Lab. of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Slope gradient has many impacts on soil erosion by water and mineral nitrogen loss in an erosion process. The results from artificial rainfall experiments are as follows. Only in a certain range of slope gradient, the amounts of soil erosion and mineral nitrogen loss aggrandized with the increase in slope gradient. Exceeding the range, however, the amounts of the losses decreased. With the same slope length, the critical slope gradients for soil erosion and mineral nitrogen loss were validated between 15° and 20°. Soil mineral nitrogen loss showed two trends. First, soil mineral nitrogen loss by runoff was much more than that by sediment, being about 99% of the total loss amount. Second, soil nitrate loss in erosion process was the main trend, being about 96% of the total amount of mineral nitrogen loss. The percent of nitrate lost in surface runoff was much more than that in sediment. Further measures to reduce runoff flow are suggested to control soil mineral nitrogen loss by surface runoff.

Keywords: slope gradient; mineral nitrogen; soil erosion; critical slope gradient

氮是作物生长主要的养分限制因子之一,也是易引起水体富营养化的重要元素。坡耕地土壤 N 素主要通过径流流失进入水体,约占总流失量的 81.9% ~ 93.4%^[1]。黄土高原坡耕地面积约占总耕地面积的 73.6%,坡耕地氮素流失与农业非点源污染一直是研究的热点问题^[1-3]。坡度直接影响承雨面积、降雨雨滴对地面的打击角度、坡面径流所具有的能量及其对地表的冲刷能力,对水土流失和养分流失的影响颇为复杂。许多研究一致认同“侵蚀临界坡度”(当斜面坡度增大到该坡度时,侵蚀量恰好由增加转为下降趋势)的存在,但由于研究环境条件的差异,所提临

界坡度有所出入^[3-6]。多数研究认为土壤氮素地表流失量随坡度增加而呈指数或幂函数增加^[5-7]。试验证明土壤养分地表流失与水土流失过程密不可分,是土壤养分在土壤、径流和泥沙等不同介质中的质量传递。降雨和径流是坡面水土流失、土壤养分迁移的主要动力,土壤是相互作用的界面和养分迁移的“母体”^[2]。本文从土壤养分和降雨、地表径流作用角度出发,研究人工模拟降雨条件下土壤矿质氮素径流流失过程,分析坡度对水土流失过程、随地表径流和泥沙迁移的养分浓度和流失量等的影响,以期揭示水蚀条件下土壤养分的流失机理。

收稿日期: 2006-09-11

修稿日期: 2006-12-26

资助项目: 国家自然科学基金(90610030); 陕西省教育厅省级重点实验室重点科研计划项目(05JS35); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金课(10501-142); 西安理工大学优秀博士论文基金(106-210623)

作者简介: 张亚丽(1976-),女(汉族),河南南阳人,博士研究生,主要从事农业非点源污染机理和水土环境保护方面的研究。E-mail: skyali@163.com。

1 研究方法

1.1 供试材料

模拟降雨试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室模拟降雨大厅进行。采用侧喷式自动模拟降雨系统, 喷头高度 16 m, 雨滴降落终速可达到自然雨滴降落速度的 98% 以上^[8]。土槽为 5 个长 × 宽 × 高 = 1.0 m × 0.5 m × 1.2 m 的坡度可调式钢槽。槽底均匀打孔, 用于模拟天然透水坡面。在槽下端设集流装置, 可定时采集径流样。所用土壤均为黄绵土, 采自陕西省安塞县, 质地为粉质壤土。

1.2 试验设计

将供试土壤过 5 mm 筛, 在 5 个装土槽分层回填黄绵土, 填土深度为 1.0 m。装土时控制含水量 11% 左右, 土壤容重维持在 $1.25 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ 。小区坡度为 5° , 10° , 15° , 20° 和 25° , 裸地, 降雨时间 80 min, 降雨强度设计为 1.6 mm/min (以实际率定结果为准), 降雨前各坡面均施 $10 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$ (相当于 3.5 g 纯 N)。降雨 1 h 前将 $10 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$ 溶解于 200 ml 清水中, 均匀喷施于土面。

1.3 样品分析

降雨前采集原始土壤以备测土壤养分背景值。降雨过程记录产流开始时间和降雨结束后持续产流时间, 采集雨水样以备测定雨水养分含量, 同时从地表产流开始分不同径流时段 (2~5 min) 采集径流样, 测定各泥水样的总体积, 取部分上层清液过滤后测定径流中矿质氮含量。剩余泥水样经过澄清、倾水后将泥沙风干称重, 测泥沙中矿质氮含量。土壤和泥沙中矿质氮用 2N 的 KCl 溶液浸提 (土水比为 1:5)。土壤水分含量用烘干法测定, 土壤质地用比重计法测定, 土样和水样中的硝态氮用紫外分光光度计测定, 铵态

氮用连续流动分析仪测定。忽略雨期蒸发, 各时段的产流强度 $V_R (\text{mm/min})$ 和产沙强度 $V_s (\text{g/min})$ 分别由下式计算^[9]:

$$V_R = 10R_u / (St) \quad (1)$$

式中: V_R ——产流强度 (mm/min); R_u ——径流量 (ml); S ——坡面受雨面积 (cm^2); t ——降雨历时 (min)。

$$V_s = 10^4 S_e / (St) \quad (2)$$

式中: V_s ——产沙强度 (g/min); S_e ——泥沙量 (g), 其余符号同前。

2 结果与分析

2.1 坡度对坡面水土流失的影响

降雨开始后, 坡面最早开始产流的是 5° 坡地, 其次为 15° 坡地, 25° 坡地最迟产流。降雨结束后, 产流并未立即停止, 25° 坡地继续产流时间为 1.92 min, 其它坡地为 2.4~3.0 min (表 1)。这是由于在初期降雨阶段, 小坡度坡面的实际承雨面积大, 坡面汇流快, 产流时间较早; 降雨结束后, 在没有雨水补给的情况下, 坡度越大, 地表径流在土壤表面停留时间越短, 即最快结束地表产流。

在开始产流 20 min 内产流强度增长幅度最快, 降雨结束后急剧降低 (图 1)。 15° , 20° 和 10° 坡面产流强度比较接近, 明显大于 25° 坡地, 产流强度最弱的是 5° 坡地。在地表产流 20 min 内, 各坡面的泥沙累计量达到总泥沙量的 60%~75%, 由此知径流对地表的冲刷能力和挟沙能力在产流前期最强。

随着降雨历时的增加, 易于被搬运的泥沙陆续被水流冲走, 坡面糙率减小, 水流趋于平缓, 坡面产沙强度逐渐减小 (图 2)。 10° , 15° 和 20° 坡地的产沙强度大于 5° 和 25° 坡地。

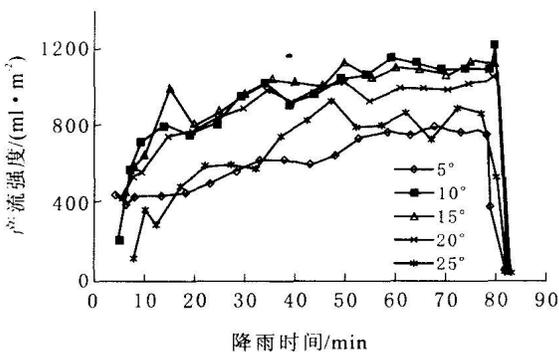


图 1 坡面产流强度变化

当坡长一定时, 坡度对坡面承雨量、汇流速度和径流侵蚀力的影响不同, 进而对坡面水土流失量产生

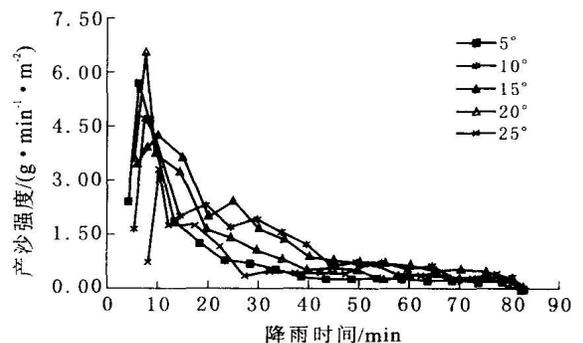


图 2 坡面产沙强度变化

一系列叠加影响。坡度越大, 坡面实际承雨面积越小, 坡面径流在坡面滞留时间较短, 水分入渗作用受

到抑制,但是地表汇流速度快,径流侵蚀力比较大。在 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 坡度范围内,坡度越大,累计径流量和泥沙量越大。当超出这一范围时,径流量反而随坡度的增加而减小。

表 1 坡度对坡面水土流失量和矿质氮流失量的影响

坡度/ ($^{\circ}$)	雨强/ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	开始产 流时间/ min	雨停后产 流时间/ min	径流量/ ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2}$)	径流矿质氮素 流失量/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)			泥沙量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	泥沙矿质氮素 流失量/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)		
					硝态氮	铵态氮	总流失量		硝态氮	铵态氮	总流失量
5	1.640	2.17	2.58	48443	381.12	12.48	393.61	70.23	1.96	1.20	3.17
10	1.628	3.33	2.42	73604	566.82	25.15	591.97	95.11	1.84	1.54	3.39
15	1.631	4.00	2.47	76122	589.68	18.54	608.22	108.72	3.29	2.32	5.61
20	1.630	3.48	2.50	70869	582.93	25.13	608.06	99.29	2.79	1.62	4.41
25	1.626	6.15	1.92	64741	505.70	19.38	525.08	85.89	2.68	1.68	4.36

2.2 坡度对土壤矿质氮素地表流失的影响

2.2.1 降雨过程径流矿质氮素浓度变化 一般说来,土壤颗粒吸附铵态氮,几乎不吸附硝态氮,因此铵态氮基本吸附于土壤颗粒表面,而硝态氮主要存在于土壤液相中^[2]。降雨前 1 h 在各坡面表层喷施 NH_4NO_3 , 导致表层土壤的水分含量、液相铵态氮和硝态氮含量均增加。此外,由于坡面尺寸较小,降雨过程没有明显的细沟侵蚀发生,径流中矿质氮浓度受侵蚀泥沙的影响很小,径流中硝态氮和铵态氮浓度的变化规律比较接近。当地表产流开始时,吸附于表层

由表 1 知坡面径流量由小至大为: $5^{\circ} < 25^{\circ} < 10^{\circ} < 15^{\circ}$, 泥沙量由小至大为: $5^{\circ} < 25^{\circ} < 10^{\circ} < 20^{\circ} < 15^{\circ}$ 。这表明本试验条件下侵蚀临界坡度位于 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 之间。

颗粒和存在于土壤液相中矿质氮含量相对较高,坡面径流的稀释溶解作用较强,因而径流养分浓度较大(图 3 和图 4)。随着降雨过程的持续,表层土壤矿质氮素不断地被雨水淋洗到土层深处或随地表径流、泥沙迁移,又不能得到下层土壤养分的及时补给,导致径流中矿质氮素含量逐渐降低。因此,地表产流初始阶段是土壤矿质氮流失的关键时期。降雨开始 20 min 后,径流中矿质氮浓度趋于稳定,尤其是径流硝态氮的浓度在降雨后期接近雨水的本底浓度(7.13 mg/L)。

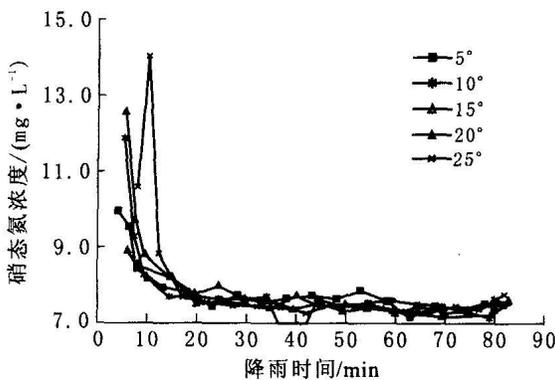


图 3 降雨过程径流中硝态氮浓度

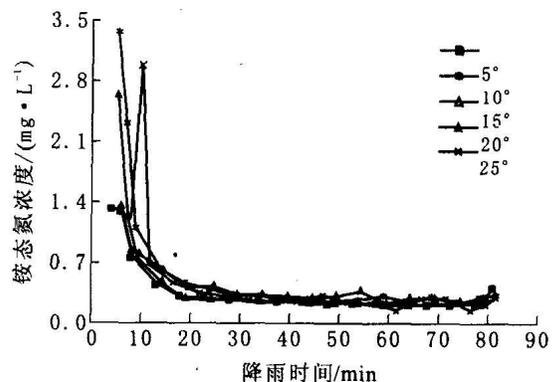


图 4 降雨过程径流中铵态氮浓度

2.2.2 坡度对土壤矿质氮地表流失量的影响 与水土流失量相同,土壤矿质氮流失量随着坡度的增加而增大仅在一定坡度范围内成立。由表 1 知径流和泥沙中矿质氮素流失量从大到小依次为 15° , 20° , 10° , 25° , 5° 。黄丽等根据三峡库区紫色土养分流失试验,发现当坡度由 20° 增至 35° 时,土壤和养分的流失量却逐渐下降,指出紫色土坡地的侵蚀临界坡度约在 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 之间^[10]。本文黄土坡地矿质氮流失的临界坡度应该在 15° 和 20° 之间。在此坡度下,土壤矿质氮素流失量最大。当超过这一坡度时,土壤矿质氮素

流失量反而呈减少趋势。我们从土壤矿质氮素与降雨、地表径流的作用过程来解释这种现象。地表径流和侵蚀泥沙是土壤矿质氮素地表迁移的 2 种载体,流失的动力均来自径流流速和径流深^[2]。因此,坡度对土壤侵蚀和养分流失的影响最终是通过坡面径流量和流速来体现的。不同坡度导致地表侵蚀量不同,这种差异势必也会影响到溶解于径流或吸附于泥沙中的矿质氮流失量。小坡度坡面径流量和流速较小,它对地表矿质氮素的冲刷和浸提作用相对较弱;大坡度坡面实际承雨面积小,地表汇流时间短,地表径流

与表层矿质氮素的作用时间较短, 导致地表流失的养分量较少。

2.3 侵蚀泥沙与地表径流土壤矿质氮含量比较

坡地土壤养分地表流失主要有两大途径: 一为径流冲刷、剥蚀造成耕作层表土及其中携带养分的流失, 即综合样中提取的泥样及其所含养分, 这类流失主要是因径流的机械搬运而造成“土粒”的流失, 故此途径可称为“物理侵蚀”; 二为地表径流对土壤养分的溶解解吸而造成流失(溶蚀), 流失成分为净水样中所含有效养分, 可称之为“化学侵蚀”^[11]。5°~25°坡地径流中硝态氮流失量是泥沙中的177~368倍, 径流中铵态氮流失量是泥沙中的10~14倍(表1)。这说明土壤矿质氮流失以“化学侵蚀”为主, 即随径流流失为主, 约占总流失量的99%。

2.4 土壤硝态氮与铵态氮流失量比较

各坡地硝态氮流失总量显著高于铵态氮流失总量, 约占矿质氮总流失量的96%。在养分“化学侵蚀”和“物理侵蚀”作用中, 硝态氮和铵态氮对养分流失总量贡献率不同。径流硝态氮流失量占径流矿质氮总量的96%~97%, 铵态氮仅占总量的3%~4%; 泥沙硝态氮流失量占泥沙矿质氮总量的54%~63%, 铵态氮占总量的37%~46%。这反映土壤硝态氮易受地表径流冲刷、溶解流失, 铵态氮则易吸附于侵蚀泥沙流失。由于地表径流量明显高于地表侵蚀泥沙量, 地表径流对土壤矿质氮素流失量的影响较侵蚀泥沙更显著。

3 结论

本文从土壤溶质与降雨、地表径流作用角度, 分析了坡度对水土流失和土壤矿质氮流失过程的影响。结果表明在一定坡度范围内, 土壤侵蚀量和矿质氮流失量随着坡度的增加而增大; 当超过这一坡度范围时, 侵蚀量和养分流失量反而有下降趋势。本试验测定黄土坡地土壤侵蚀和矿质氮流失的临界坡度均在

15°~20°。今后应该扩大研究对象, 进一步研究黄土区其它土壤养分流失的临界坡度。当坡面侵蚀泥沙含量较小时, 土壤矿质氮以溶解态流失为主, 且硝态氮流失量约占矿质氮流失总量的96%。因此, 只要采取适当的截流措施, 提高雨水利用率, 可以有效地减少土壤矿质氮的地表流失。

致谢: 中国科学院水土保持研究所毕桂英高级实验师在室内样品分析中提供了大量帮助, 中国科学院水土保持研究所提供了试验研究场地。

[参 考 文 献]

- [1] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同农作方式红壤坡耕地土壤氮素流失特征[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 863—866.
- [2] Zhang Xingchang, Shao Mingan. Effects of vegetation coverage and management practice on soil nitrogen loss by erosion in a hilly region of the Loess Plateau in China[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1195—1203.
- [3] 赵晓光, 吴发启, 刘秉正, 等. 再论土壤侵蚀的坡度界限[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 42—46.
- [4] 唐克丽, 张科利, 雷阿林. 黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证[J]. 科学通报, 1998, 43(2): 200—203.
- [5] 王百群, 刘国彬. 黄土丘陵区地形对坡地土壤养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 1999, 5(2): 18—22.
- [6] 刘秉正, 李光录, 吴发启, 等. 黄土高原南部土壤养分流失规律[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 77—86.
- [7] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 188—198.
- [8] 周佩华, 张学栋, 唐克丽. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室土壤侵蚀模拟试验大厅降雨装置[J]. 水土保持通报, 2000, 20(4): 27—30.
- [9] 李裕元, 邵明安. 降雨条件下坡地水分转化特征试验研究[J]. 水利学报, 2004(4): 48—51.
- [10] 黄丽, 丁树文, 董舟, 等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 8—21.
- [11] 周俊, 朱江. 合肥近郊旱地土壤养分径流流失途径的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 391—394.