

# 模拟降雨条件下坡地氮流失特征研究

石 德 坤

(贵州省水土保持监测站, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:** 通过人工模拟降雨研究了 5 种雨强对紫色土坡地氮径流损失的影响。结果发现, (1) 随着雨强的增大, 地表径流占总径流量的比例上升。(2) 径流中氮的流失是随着雨强的增加而逐渐降低的。其中铵氮和硝态氮作为可溶性氮, 它们的流失浓度随着时间的变化有一定的规律性, 主要表现为径流前期浓度较高, 随着降雨时间的延长, 浓度趋于稳定或减小, 后期则又有所上升。(3) 地表径流量对硝态氮的流失量起决定性作用, 而浓度对壤中流流失量起主导作用。小雨强下紫色土坡地径流硝态氮流失以壤中流为主, 随着雨强的增大, 地表径流流失量的贡献率越发明显。

**关键词:** 紫色土; 壤中流; 模拟降雨; 氮流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0098-04

中图分类号: S158

## Characteristics of Nitrogen Loss on Slope Under Simulated Rainfall

SHI De-kun

(Guizhou Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Guiyang, Guizhou 550002, China)

**Abstract:** Nitrogen loss on the slope with purple soil is studied by simulated rainfall of 5 rainfall intensities. The following conclusions can be drawn: (1) Proportion of surface runoff is increased with rainfall intensity increasing. (2) Nitrogen loss is reduced gradually with the rainfall intensity increasing. Ammonium nitrogen and nitric nitrogen are the soluble nitrogen. Their density is high in the initial time, tends to be stable or decrease with rainfall continuing, and increases in the later period. (3) Surface runoff plays a key role in nitric nitrogen loss and nitric nitrogen density plays a leading role in interflow loss. Soil nitric nitrogen loss is dominated at small rainfall intensity, but surface nitric nitrogen loss is increased with increased rainfall intensity.

**Keywords:** purple soil; interflow; simulated rainfall; nitrogen loss

水土资源是人类赖以生存和发展的物质基础, 严重的土壤流失将直接制约我国社会经济的可持续发展。土壤养分随地表径流的迁移是一个十分复杂的过程, 受到众多因素的影响, 如降雨特性、下垫面条件、植被覆盖、坡度、耕作方式、土壤抗蚀性、土壤的理化性质及温度等<sup>[1]</sup>。降雨条件下坡地养分流失的过程是一个降雨—入渗—产流—土壤侵蚀的过程。由于雨水与土壤的混合, 以固态形式存在的某些养分溶解, 吸附在土壤和作物残留物上的部分养分解吸, 以及侵蚀泥沙中养分的解吸, 从而使表面或接近土壤表面的化学物质以溶解形态在地表径流中迁移, 或随入渗水使养分造成深层渗漏<sup>[2]</sup>, 其迁移方式按形态划分主要有以下两种: 一是悬浮态流失, 即污染物结合在悬浮颗粒上随土壤流失进入水体; 二是淋溶流失, 即水溶性较强的污染物被淋溶而进入径流<sup>[3]</sup>。目前, 国内外在该领域的研究成果更多侧重于理论描述, 而应

用性成果较少。本研究旨在研究坡地养分流失规律及其的影响因素, 为保育水土资源及环境提供依据。

## 1 研究区概况

### 1.1 地形与气象条件

研究区位于贵州省龙里县羊鸡冲, 距贵阳市 35 km。受新构造运动的影响, 该区地势呈波状起伏, 为峰丛槽谷地形, 属中低山丘陵地貌。最高海拔 1 629.3 m, 最低海拔 1 109 m, 相对高差 520.3 m, 地势自西向东逐渐降低, 变化明显。属北亚热带温湿润气候, 雨热同季, 年均降雨量 1 158.5 mm, 但年内降雨分配不均。多年平均气温 14.8℃, 无霜期 250 d, 年日照时数 3 840 h。该区以水力侵蚀为主, 具有较好的云贵高原中低山丘陵地貌区域的水土流失特征<sup>[4]</sup>。

### 1.2 土壤及植被

研究区土壤为石灰土、黄壤土和钙质紫色土 3 个

类型,土壤容重为  $1.30 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$ ,总孔度为  $38\% \sim 51.7\%$ ,田间持水量为  $28.1\% \sim 37.8\%$ ,凋萎湿度为  $5.4\% \sim 7.7\%$ 。研究区植被属亚热带石灰岩常绿栎林及常绿落叶阔叶混交林。据调查,羊鸡冲小流域现有林地面积  $435 \text{ hm}^2$ ,其中有林地  $347 \text{ hm}^2$ ,疏幼林地  $60 \text{ hm}^2$ ,主要植被以松、杉为主,其次为灌木林或灌丛,农作物主要为水稻、玉米、小麦、油菜和红薯等<sup>[4]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

降雨采用摇摆式人工模拟降雨装置进行,其降雨均匀度为  $85\%$ ,降雨高度为  $2.7 \text{ m}$ ,降雨历时为  $75$

min 左右(随壤中流产流时间的延长可适当推迟),统一选取养分较低(全氮为  $3.21 \text{ mg/L}$ ,全磷为  $0.05 \text{ mg/L}$ )的自来水作为供试水,供试土壤为钙质紫色土,其主要理化性质见表 1。

### 2.2 试验方法

在液压可变坡车上的土槽内设置试验小区 1 个,土槽投影面积为  $4.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ ,槽内填埋 5 层取自当地坡地原状的紫色土,每层土厚  $10 \text{ cm}$ ,土层共厚  $50 \text{ cm}$ 。依据当地常见的坡度,选取  $5$  为典型坡度,根据龙里气象站对当地降雨量的多年观测,分别设置  $0.33, 0.62, 0.90, 1.23, 1.86 \text{ mm/min}$  这 5 种雨强,依次从小至大进行 5 次降雨试验。

表 1 供试土壤主要理化性质

项目	容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	毛管孔 孔隙度/ $\%$	非毛管 孔隙度/ $\%$	pH 值	全氮含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碱解氮含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有机质含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碳酸钙含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
紫色土	$1.3 \pm 0.03$	$38.53 \pm 1.10$	$11.11 \pm 2.00$	$8.1 \pm 0.2$	$0.59 \pm 0.3$	$42.29 \pm 0.8$	$7.8 \pm 0.7$	$131.6 \pm 4.8$

于降雨开始后计测地表径流和壤中流出现的时间,开始产流后每  $1 \sim 3 \text{ min}$  取一次水样,随着产流的稳定可逐渐延长采样时间,最后取地表径流和壤中流的总样。

由于紫色土地区氮的流失量主要受可溶性氮(DN)流失量的影响,泥沙带走的氮很少,所以本次选择可溶性氮、硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )和氨氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )来研究氮随径流流失的特征。采集的水样经  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜过滤后,根据中国科学院成都山地灾害与环境研究所的研究经验,DN 用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度计法测定, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  用紫外分光光度计法测定, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  用纳氏试剂分光光度法测定。

## 3 结果与分析

根据试验中每场降雨的不同发生条件,即根据不同降雨强度设计出相对应的试验方案。在 5 场模拟降雨试验里,以覆盖度相同、坡度相同和降雨强度不同作为分组要求,选取  $0.33, 0.90, 1.86 \text{ mm/min}$  3 场降雨的试验数据,将每场降雨过程中径流里的可溶性氮、硝态氮和氨氮在不同雨强下的流失浓度随降雨时间的推移而变化形成的过程曲线绘制成图,进行曲线趋势的对照和比较。

### 3.1 雨强对径流分配的影响

坡耕地 5 场人工模拟降雨均有地表径流和壤中流产生(表 2)。地表开始产流后,地表径流迅速增大并达到最大流量,当降雨结束后地表径流很快消失,壤中流产流过程对降雨的响应较快,产流开始后壤中流流量快速增大并很快达到峰值,随后径流维持在峰

值直至降雨结束;降雨结束后壤中流流量立刻迅速下降,一段时间后以较低的速度缓慢减少。雨强对地表径流的影响非常明显,雨强越大径流量越大;壤中流径流量表现出与地表径流相反的特点( $0.33 \text{ mm/min}$  雨强除外),随降雨强度的增大而变小。

表 2 径流分配比例

雨强/ ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )	前期土壤 含水量/ $\%$	降雨 量/ $\text{mm}$	地表径 流量/ $\text{L}$	壤中流径 流量/ $\text{L}$
0.33	27.80	29.60	46.68	26.87
0.62	28.10	49.85	78.23	45.30
0.90	28.00	76.26	194.96	36.50
1.23	28.50	91.02	312.42	23.09
1.86	28.30	161.21	489.60	21.37

小雨强( $0.33 \text{ mm/min}$ )时,坡耕地总径流系数在  $0.39 \sim 0.46$  之间,其中地表径流占  $63\%$ ,壤中流占  $37\%$ ,相对于中雨强和大雨强来说小雨强时的地表径流很少。在中雨强和大雨强( $0.90 \sim 1.86 \text{ mm/min}$ )时,地表径流和壤中流同时出现,坡耕地总径流系数在  $0.53 \sim 0.55$  之间,其中地表径流占  $84\% \sim 96\%$ ,壤中流所占比例较小,仅为  $4\% \sim 16\%$ 。分析其原因,可能是不同雨强条件下产流方式发生了变化,大至暴雨强类型的降雨以超渗产流为主,造成地表径流产流较多,壤中流产流较少;而中小雨强类型的降雨以蓄满产流为主,使地表径流产流减少,壤中流产流增多。

### 3.2 雨强对可溶性氮径流流失量过程的影响

人工降雨条件下,地表径流可溶性氮的浓度输出

是在产流后一段时间趋于稳定。不同雨强下 DN 浓度随地表径流变化过程呈现出极大的差异性(见图 1)。小雨强下产流开始时的 DN 浓度较高,随着产流历时延长和产流量的增加逐渐降低。而在暴雨强下 DN 浓度先快速降低,而后又缓慢上升。这说明在产流开始时,肥沃的土地表层在侵蚀力很强的暴雨冲刷下,土壤中部分氮被径流带走,这时 DN 的浓度最高,然后地表土壤含氮量降低,等到产流稳定,径流与土壤充分接触,其含氮浓度也逐渐上升。降雨强度居中的中雨强 DN 浓度变化平缓,基本稳定在 4.043 ~ 4.86 mg/L 之间。DN 含量表现出随雨强增大和壤中流径流量变大而减小的趋势。说明雨强越高,壤中流径流量越大,降雨形成的径流与土壤接触得越不充分,反应的时间越短,因此径流液中 DN 浓度越低。

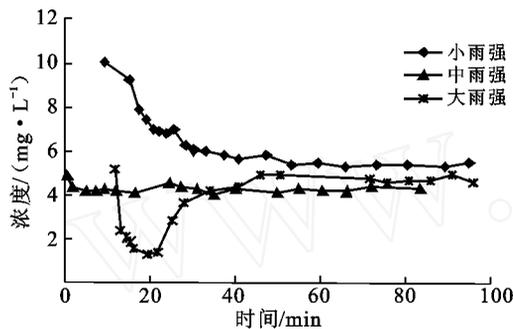


图 1 不同雨强下地表径流 DN 随时间流失过程

壤中流 DN 的输出浓度在初期较小,然后逐渐增大,浓度总是高于地表径流。人工降雨条件下,壤中流产流后几分钟,就趋于稳定,这是由于地表的作物覆盖和稳定的土壤受力。壤中流 DN 的浓度呈逐渐增加的趋势,然后达到稳定状态(见图 2)。因为在降雨初期,径流跟土壤的接触还不够充分,从而浓度相对较低。小雨强下壤中流 DN 浓度从开始产流到降雨结束一直处于上升状态。说明在小雨强下壤中流 DN 浓度与时间的延长成正比。其上升趋势线一直都很陡峭,而在中雨强和暴雨强下在产流初期 DN 的浓度比较平稳,产流一段时间后才逐渐上升。相比而言,在 3 种雨强下 DN 的浓度曲线陡峭程度从小到大为大雨强 < 中雨强 < 小雨强。

### 3.3 雨强对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 径流流失过程的影响

不同雨强下  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度随地表径流变化过程呈现出极大的差异性(见图 3)。小雨强下产流开始时的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度较高,随着产流历时延长和产流量的增加逐渐降低。而在暴雨强下  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度先快速降低,而后又缓慢上升, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度具有随降雨的进行而呈现出低谷值的特性。降雨强度居中的中雨强

$\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度变化平缓,基本稳定在 3.52 ~ 3.91 mg/L 左右。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量表现出随雨强增大和壤中流径流量变大而减小的趋势,说明雨强越高,壤中流径流量越大,降雨形成的径流液与土壤接触的越不充分,反应的时间越短,因此径流液中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度越低。

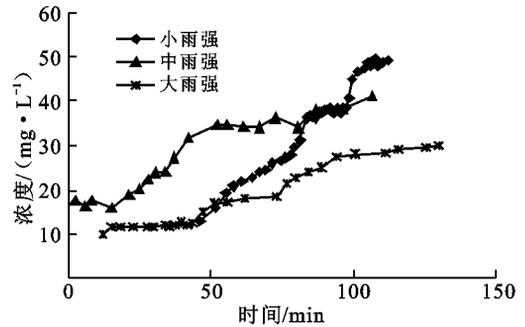


图 2 不同雨强下壤中流 DN 随时间流失过程

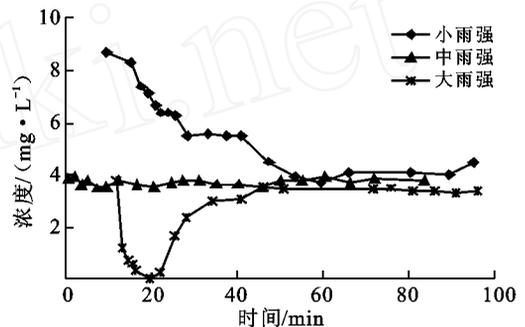


图 3 不同雨强下径流中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  随时间氮流失过程

雨强同样影响着壤中流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的浓度变化趋势(见图 4)。小雨强下,产流初期壤中流硝态氮浓度变化较小,其值在 20 mg/L 波动,而后迅速升高,直至降雨结束。暴雨强条件下,整个降雨过程中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度变化都较小(7.87 ~ 17.23 mg/L)。由于雨强直接决定降雨对表土的打击作用强度,影响大孔隙流和基质流的形成,从而影响  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的输出过程。主要表现在以下两方面:首先,随雨强增大,峰值浓度显著减小,0.33 mm/min 峰值浓度为 48.19 mg/L,当雨强增大到 1.23 mm/min 后,峰值浓度降低到 17.23 mg/L,略高于前者的 1/3。其次,雨强对壤中流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的浓度变化过程也存在显著影响。在小雨强条件下,浓度变化过程呈陡峭上升,当雨强增大后,浓度曲线逐渐变得平缓。

### 3.4 雨强对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 径流流失过程的影响

不同降雨强度下  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  地表径流流失浓度随时间变化的过程见图 5。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  作为可溶性氮,其流失浓度及过程的陡峭度受雨强影响较大,在大雨强时下降趋势比较明显。小雨强下  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  流失浓度过程相对于大雨强平缓,在稳定期内其浓度

比大雨强大。中雨强时  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的浓度保持在  $0.017 \sim 0.092 \text{ mg/L}$  之间,整体保持比较平缓的趋势。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量表现出随雨强增大和壤中流径流量变大而减小的趋势,说明雨强越高,壤中流径流量越大,降雨形成的径流液与土壤接触的越不充分,反应的时间越短,因此径流液中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度越低。

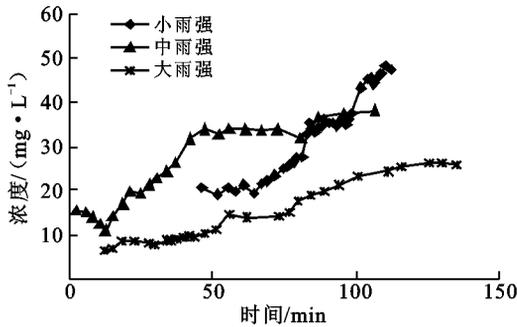


图 4 不同雨强下壤中流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  随时间流失过程

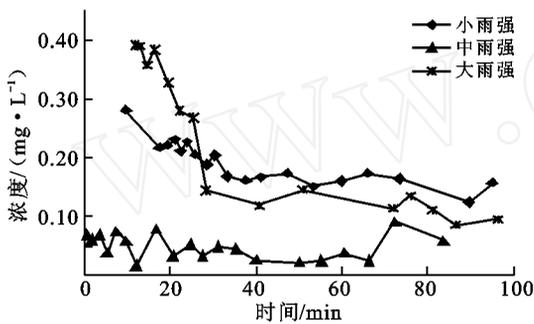


图 5 不同雨强下地表径流氮随时间流失过程

不同雨强下  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  壤中流浓度随时间的变化没有明显的规律性,而且其含量都很低(见图 6),不到总氮含量的 5%。这是由于在好氧条件下,土壤中矿化释放的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  以及肥料胺,很快被氧化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ;另外由于土壤胶体一般带负电荷, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  带正电荷,已被土壤吸附。

综上所述在不同雨强下不同产流时段氮流失的浓度不同:产流开始时,径流中矿质氮浓度较高,后逐渐减低并趋于稳定;当降雨结束后,径流中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度均高于降雨期产流。这可能是由于初始产流时,土壤黏粒含量较高,吸附于表层颗粒和存在于土壤液相中矿质氮浓度相对较高,坡面径流的稀释溶解作用较强,浓度相应较高。随降雨的持续,表层土壤矿质氮不断地被雨水淋洗到土层深处或随

径流、泥沙迁移,径流养分浓度逐渐降低并趋于稳定。当降雨结束后,产流并未立即停止,径流对养分的淋洗作用减弱,而单位径流坡面汇流时间延长,增加了径流与土壤表层养分的作用时间,使得径流中矿质氮浓度增加。

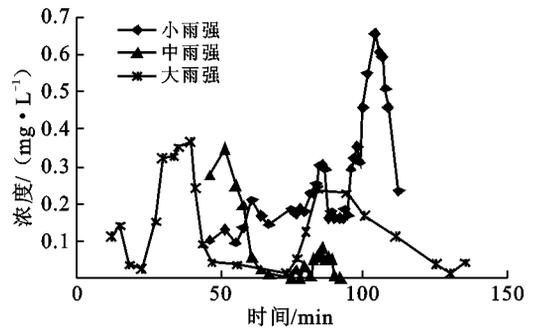


图 6 不同雨强下壤中流氮随时间流失过程

## 4 结论

通过试验数据中氮流失浓度过程曲线规律进行分析总结,获得以下结论。

- (1) 随着雨强的增大,地表径流占总径流量的比例上升。
- (2) 径流中氮的流失是随着雨强的增加而逐渐降低的。其中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  作为可溶性氮,它们的流失浓度随着时间的变化有一定的规律性,主要表现为径流前期浓度较高,随着降雨时间的延长,浓度趋于稳定或减小,后期则又有所上升。

- (3) 地表径流量对径流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的流失量起决定性作用,而浓度对壤中流流失量起主导作用。小雨强下紫色土坡地径流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  流失以壤中流流失为主(占 91.68%),随着雨强的增大,地表径流流失量的贡献率越发明显(占 8.32%~63.12%)。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 吴希媛,张丽萍,张妙仙,等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报, 2007, 11 :4576-4582.
- [2] 邬伦,李佩武. 降雨—产流过程与氮磷流失特征研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(1) :111-1161.
- [3] 尹澄清,毛战坡. 用生态工程技术控制农村非点源污染[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2) :229-232.
- [4] 贵州省龙里县羊冲小流域石漠化人工降雨模型实施方案[R]. 2006:5-8.