

# Study on Simulation of Runoff and Nitrogen Loss in Different Types of Riparian Zone in Lian River Basin

Wei Ren<sup>1</sup>, Danjun Yao<sup>1</sup>, Zhenhong Wang<sup>1\*</sup>, Libo Liu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>College of Environment and Life Science, Kaili University, Kaili Guizhou

Email: \*w\_zhenhong@126.com

Received: Jun. 2<sup>nd</sup>, 2017; accepted: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2017; published: Jun. 26<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

A riparian zone is an ecotone between fresh-water ecosystems and terrestrial ecosystems. Understanding of the ecological processes occurring in the riparian zone will provide knowledge for a control of non-point source pollution in a watershed and restoration of riparian zones. Riparian zones along Lianjiang River in central Guizhou province of China were investigated through a route survey method to define the types of the riparian zones in Karst Rivers. According to the utilization of soil, vegetation types, topography, soil texture, the intensity of human activities and vegetation coverage, the types of the riparian zone along Lianjiang River were classified into eight types. Furthermore, Surface runoff, soil water infiltration and loss of nitrogen with the surface runoff were determined at the different sites representing these eight types of the riparian zones using a runoff trough under a condition of the simulation of the surface runoff. The results indicated that the surface runoff from the riparian type "Grass + loam + mountain and V-shaped valley + severe disturbance" is largest in a single or total event of the surface runoff. The surface runoff from both the riparian types "Agricultural land + rice paddies abandoned land + hills, U-shaped valleys + loam + intense human disturbance" and "Agricultural land + slope to bare land + hills, U-shaped valleys + loam + intense disturbance" is lowest, in which six times scouring soils could not generate the surface runoff. However, the water infiltration amount had an opposite result with three infiltration events, 43mL, 800mL and 800mL. The losses of total nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen from different river riparian zones increased along with a frequency of scouring, in which the losses of the nitrate nitrogen are higher than that of the ammonium nitrogen. The losses of the total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen were largest in the riparian type "Construction land + bare land + loam + mountain and V-shaped valley + intense disturbance", which were respectively 4.60mg/L, 1.74 mg/L and 2.11 mg/L. The losses of the total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen were lowest in the riparian type "Grass + loam + mountain, V-shaped valley + intense disturbance", which were respectively 1.56 mg/L, 0.45 mg/L and 0.47 mg/L. This study revealed the characteristics of nitrogen leaching loss from the different riparian zones.

## Keywords

Riparian Zone, Soil Surface Runoff, Soil Water Infiltration, Soil Nitrogen Loss

---

# 涟江流域不同类型河岸带模拟径流过程及氮流失研究

任 维<sup>1</sup>, 姚单君<sup>1</sup>, 王震洪<sup>1\*</sup>, 刘立波<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>凯里学院环境与生命科学学院, 贵州 凯里

Email: \*w\_zhenhong@126.com

收稿日期: 2017年6月2日; 录用日期: 2017年6月23日; 发布日期: 2017年6月26日

## 摘 要

本研究以涟江流域作为研究对象, 采用路线调查法对流域河岸带类型进行调查, 根据土地利用方式、植被类型、地形地貌、土壤质地、人类活动强度、植被覆盖度等指标对涟江流域河岸带分类, 选取不同类型河岸带运用径流槽模拟地表径流冲刷, 测定土壤水分入渗和地表径流中氮流失量, 以期能为流域面源污染防治以及良好河岸带结构的构建提供参考。研究表明: 草地 + 壤土 + 山地、V型河谷 + 重度干扰类型河岸带地表径流产生量最大, 单次冲刷最大地表径流量为757 mL; 农业用地 + 水稻田撂荒地 + 丘陵、U型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰类型与农业用地 + 坡耕地裸地 + 丘陵、U型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰类型产生量最低, 6次冲刷均未产生地表径流。水分入渗量则相反, 这三种类型单次冲刷入渗量分别为43 mL、800 mL、800 mL。不同类型河岸带模拟冲刷径流中总氮、铵态氮、硝态氮流失量均随冲刷次数增多而降低, 其中硝态氮流失量大于铵态氮流失量。总氮、铵态氮、硝态氮流失量最大为建设用地 + 裸地 + 壤土 + 山地、V型河谷+重度干扰类型河岸带, 流失量分别为4.60 mg/L、1.74 mg/L、2.11 mg/L; 流失量最小为草地 + 壤土 + 山地、V型河谷 + 重度干扰类型河岸带, 流失量分别为1.56 mg/L、0.45 mg/L、0.47 mg/L。本研究从局域尺度揭示了不同河岸带氮流失特征。

## 关键词

河岸带分类, 土壤地表径流, 土壤水分入渗, 土壤氮流失

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着工农业的快速发展, 水环境污染问题日益加重, 导致水生态系统的破坏和水生生物多样性的下降, 对渔业和旅游业发展造成影响, 同时影响饮用水质量, 直接威胁人类健康。就我国而言, 全国被检测的河流中有 70% 以上受到不同程度污染, 并且呈现不断加重的趋势。七大水系中, 不适合做饮用水水源的河段达 40%, 工业较发达的城镇河段污染突出, 城市河段中 78% 的不适合做饮用水源, 七大水系中大辽河污染最为严重。全国主要的大型淡水湖泊也受到不同程度的污染, 其中巢湖、滇池、南四湖、太

湖污染最为严重。河岸带作为水陆生态系统之间的缓冲带，对水陆生态系统之间的物质和能量交换起到缓冲作用，可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等机制降低进入地表和地下水的径流污染物毒性以及污染程度[1] [2] [3] [4]。氮素是植物生长所必需的营养元素，同时也是引发水体富营养化的重要元素之一。土壤氮素通过地表径流或土壤侵蚀向水圈失散的过程，会引发一系列生态环境问题。例如过量氮素进入地表水会引发水体富营养化，导致水生生态系统崩溃；过量氮素进入地下水和生活饮水中，还会严重威胁人类健康[5]。国内外对河岸带的研究主要集中在河岸带的结构、功能、宽度、植被以及受损后的生态重建上，对河岸带土壤氮流失特征未有系统研究，因此本研究通过对不同类型河岸带的模拟径流过程及氮流失研究，旨在揭示不同类型河岸带土壤径流产生及氮素的流失特征，以期能为河流面源污染的治理提供依据，同时为河岸带水土保持及受损河岸带生态修复提供指导。

## 2. 研究材料和方法

### 2.1. 涟江概况

涟江，属珠江流域红河水系，发源于贵州省西南部，有两个源头，北源出自贵州省贵阳市西部花溪区党武乡，西南流；东源出自龙里县水场与大土两地之间，向西流约 30 km，两源在惠水县育岩镇附近汇合，然后折向西南流，经惠水县城，长顺县南、罗甸县北，在罗甸与长顺县之间的交观与蒙江另一河源格凸河汇合，之后称蒙江。涟江自北源到罗甸县交观镇汇合格凸河口，长约 150 km [6] [7]。

### 2.2. 研究方法

#### 2.2.1. 野外调查和实验

本研究采用路线调查法，自涟江河源所在地贵阳市花溪区沿河调查直至格凸河汇流点罗甸县交观镇双河口。选择 50 个河段调查记录河岸带环境因子，包括土地利用方式、植被类型、地形地貌、土壤质地、人类活动强度、植被覆盖度、坡度等，最后确定 8 种河岸带类型，如表 1。选择每种河岸带类型代表点，利用 50 cm × 15 cm × 10 cm 径流槽模拟冲刷河岸带，每次冲刷用水 800 mL，冲刷时间 1 分钟。径流槽为在径流槽中，用水流调节球调节水流，使水流变得均匀，流速减缓，减小加水器中直接加水冲力过大导致径流槽中土壤侵蚀过大造成的误差。用量筒在径流输出管处接收渗出径流，直至径流输出管处无径流渗出方可取出量筒，读取和记录读数，把量筒中的径流倒入塑料瓶中保存，然后进行下一次冲刷。当径流槽中渗出径流量基本保持不变时，结束冲刷。把收集的径流带回实验室测定相关指标。每个河岸带类型的冲刷实验分别设置 3 个重复。在每个径流槽旁，用铝盒和采样袋采集土样，带回实验室测定理化

**Table 1.** Different types of riparian zone samples and their main characteristics

**表 1.** 不同类型河岸带样点及主要特征

类型编号	河岸带类型	代表样点	植被覆盖度(%)	坡度(°)
1	农业用地 + 坡耕地撂荒地+山地、V 型河谷 + 砂土 + 重度人类干扰	昌明村	20	16
2	农业用地+水稻田撂荒地 + 丘陵、V 型沟谷+砂土 + 重度人类干扰	水场乡	60	0
3	农业用地 + 水稻田撂荒地+丘陵、U 型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰	歪脚村	60	0
4	农业用地 + 坡耕地裸地 + 丘陵、U 型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰	歪脚村	0	20
5	草地 + 壤土 + 山地、V 型河谷 + 重度干扰	董朗大桥	60	9
6	建设用+ 裸地 + 壤土 + 山地、V 型河谷 + 重度干扰	昌明村	0	20
7	林地 + 乔木 + 壤土 + 山地、槽型河谷 + 中度干扰	店子边村	50	13
8	林地+灌丛 + 壤土 + 丘陵、V 河谷 + 中度干扰	河西村	90	5

指标。径流槽是为野外模拟径流冲刷专门设计的小型便于携带的实验仪器，为实验室自用仪器，对比环刀，径流槽既能测出土壤水分入渗量也能测出地表产流量，且便于野外实验。

土壤入渗量计算公式：

$$\text{土壤入渗量(mL)} = \text{冲刷用水量(mL)} - \text{流出径流量(mL)}$$

本研究中土壤质地运用野外速测法干测法测定。砂土：在手掌中研磨时有砂粒的感觉，放到手上会从指缝间自动流下，用手指碾时散碎；用肉眼观察则几乎完全由砂粒组成；土壤干燥时土粒分散，不成团。壤土：在手掌中研磨时感觉有少量的砂粒，用肉眼观察则几乎看不到砂粒，干燥时用手指不可能将土块弄碎。粘土：在手掌中研磨时感觉主要是粘粒，是很细的匀质土，用肉眼观察则为匀质的细粉末，干燥时形成坚硬的土块，用锤击仍不能使其粉碎。

### 2.2.2. 室内分析

用烘干法测定自然含水率，土样总氮利用半微量开氏法测定，硝态氮利用双波长紫外分光光度法测定，铵态氮用氯化钠浸提法测定，pH 值用 pH 试纸测定，土壤有机质利用重铬酸钾容量法测定；水样中总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定、硝态氮用酚二磺酸分光光度法测定、铵态氮采用纳氏试剂法测定。

## 3. 研究结果

### 3.1. 不同类型河岸带地表径流和土壤水分渗透特征

通过野外模拟冲刷，8 种类型河岸带冲刷地表径流产生量如图 1 所示。整体来看，各类型地表径流产生量刚开始均较少，然后逐渐增多，最后趋于稳定。地表径流产生量顺序为类型 5 > 类型 8 > 类型 1 > 类型 2 > 类型 7 > 类型 6 > 类型 3、类型 4。

8 个不同类型河岸带在野外用径流槽冲刷实验表明，土壤水分入渗刚开始入渗量均比较大，然后逐渐趋于稳定(图 2)。入渗初期，入渗量为类型 3、4 > 类型 6 > 类型 7 > 类型 2 > 类型 1 > 类型 8 > 类型 5，土壤达到稳渗时长为类型 7、1 > 类型 2、5、6、7、8，类型 3、4 由于没有地表径流，无法判断其达到稳渗历时。

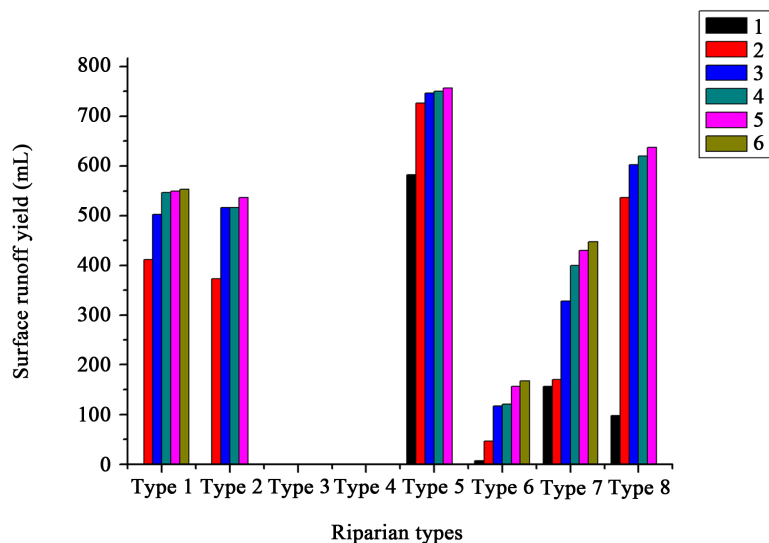


Figure 1. Surface runoff of different types of riparian zone

图 1. 不同类型河岸带地表径流量

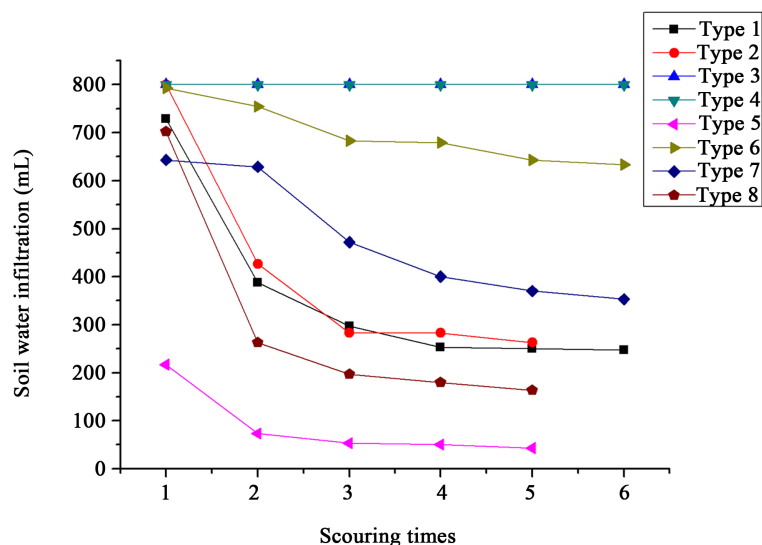


Figure 2. Soil water infiltration capacity of different types of riparian zone  
图 2. 涟江流域不同类型河岸带土壤水分入渗量

### 3.2. 不同类型河岸带土壤氮流失过程

由于类型 3、4 没有径流产生, 无法得出其径流中氮含量, 因此, 在河岸带土壤氮流失过程研究中不考虑类型 3、4。如图 3 所示, 不同类型河岸带土壤总氮第一次冲刷流失量最大, 然后逐渐降低, 除类型 7 流失量随冲刷次数增多变化较大外, 其余均较平缓。总氮流失量最大为类型 6, 其次是类型 8, 然后依次是类型 2、类型 1、类型 5, 类型 7 流失量变化幅度较大, 第一次冲刷总氮流失量仅次于类型 6, 第二次冲刷流失量次于类型 6、类型 8、类型 2, 之后冲刷总氮流失量只高于类型 5。铵态氮流失量如图 4 所示, 流失量随冲刷次数增多逐渐降低, 与总氮释放特征类似。不同类型河岸带铵态氮流失量为类型 6 > 类型 1 > 类型 7 > 类型 8 > 类型 2 > 类型 5。不同类型河岸带土壤硝态氮流失量如图 5 所示, 整体流失特征与总氮和铵态氮释放特征一致, 各类型河岸带硝态氮流失均为第一次冲刷释放量最大, 最后逐渐减低。由图 5 可知, 整体来说, 不同类型河岸带硝态氮流失量为 6 > 类型 2 > 类型 7 > 类型 1 > 类型 8 > 类型 5。

### 3.3. 土壤氮流失的影响因子

影响土壤氮素流失因子很多, 本研究以冲刷水体氮素含量、土壤理化背景值以及各类型河岸带植被覆盖度和坡度作为影响因子, 利用 Pearson 相关性分析, 分析各影响因子与土壤氮释放相关性。冲刷水体氮素含量与土壤理化背景值如表 2 所示, 分析结果如表 3 所示。河岸带土壤径流中铵态氮流失量与土壤背景铵态氮含量存在显著相关性, 与坡度也存在显著相关性, 与其他影响因子无显著相关性, 原因可能是本次研究 8 个样点河岸带因子较多, 影响力分散。

## 4. 分析与讨论

### 4.1. 不同类型河岸带地表径流和土壤水分渗透特征分析

通过野外模拟冲刷, 地表径流产生量顺序为类型 5 > 类型 8 > 类型 1 > 类型 2 > 类型 7 > 类型 6 > 类型 3、类型 4。类型 3、4 两种类型均为农业用地, 人类长期耕作改变了其土壤结构, 土质疏松, 因此渗透性较好, 6 次冲刷后均无地表径流产生。类型 5 为草地, 但是由于长期人类踩踏致使土壤板结, 土壤

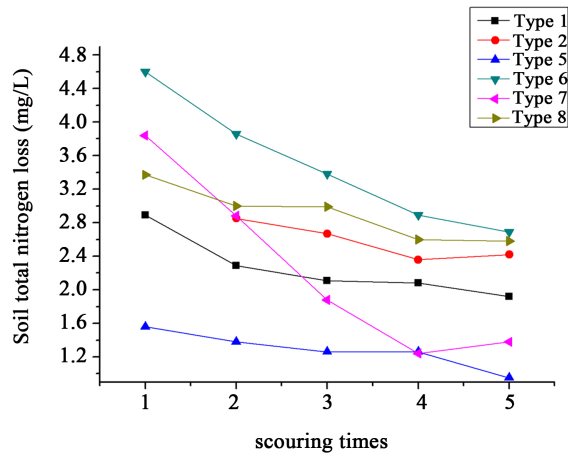


Figure 3. Soil total nitrogen loss in different types of riparian zone  
图 3. 不同类型河岸带土壤总氮流失量

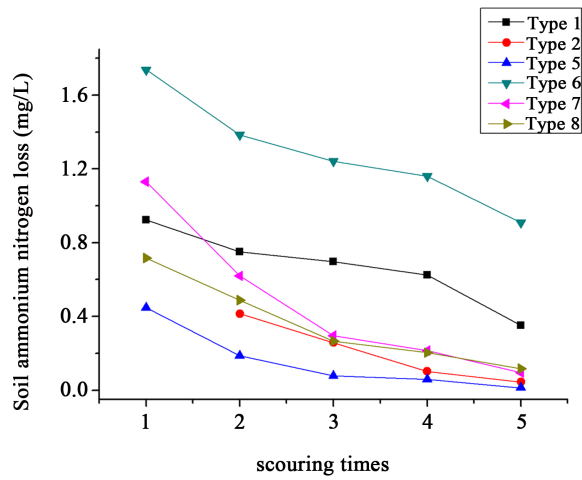


Figure 4. Soil ammonium nitrogen loss in different types of riparian zone  
图 4. 不同类型河岸带土壤铵态氮流失量

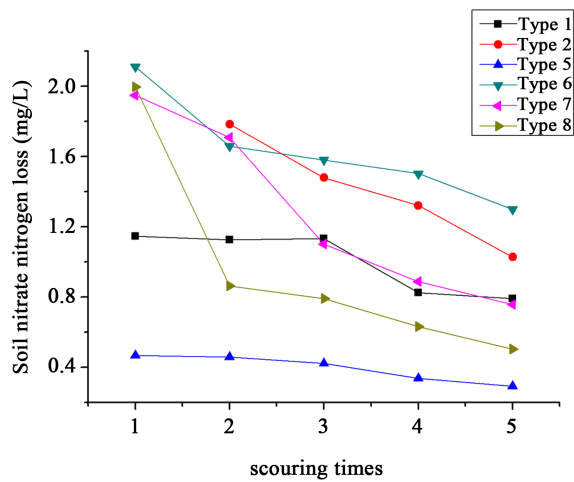


Figure 5. Soil nitrate nitrogen loss in different types of riparian zone  
图 5. 不同类型河岸带土壤硝态氮流失量

**Table 2.** The contents of nitrogen in water and soil physical and chemical background values of different types of riparian zone**表 2.** 冲刷水体氮素含量和不同类型河岸带土壤理化背景值

河岸带类型	冲刷用水氮素含量(mg/L)			土壤背景值				
	TN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN (g/kg)	NH <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	pH	有机质(mg/kg)
类型 1	2.78	0.42	2.15	1.21	33.57	2.94	7	35.19
类型 2	5.54	0.32	5.10	1.93	20.98	4.09	7	45.97
类型 5	2.00	0.19	1.25	1.42	18.05	3.63	7	34.79
类型 6	2.25	0.42	2.78	0.72	44.13	1.87	4	10.74
类型 7	2.10	0.07	1.77	1.74	35.05	20.25	7.5	37.31
类型 8	3.35	0.21	1.86	2.93	27.66	6.77	7.	65.64

**Table 3.** Effect factors of soil nitrogen loss**表 3.** 土壤氮素流失影响因子相关性分析

土壤氮释放量	冲刷用水氮素含量			河岸带土壤理化背景值				河岸带特征参数		
	TN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PH	有机质	植被覆盖度	坡度
土壤 TN 释放量	0.41	0.27	0.58	-0.06	0.6	0.15	-0.47	-0.20	-0.32	0.09
土壤 NH <sub>3</sub> -N 释放量	-0.5	0.31	-0.15	-0.55	0.97**	0.1	-0.76	-0.69	-0.75	0.85*
土壤 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 释放量	0.31	0.03	0.32	0.24	0.59	0.31	-0.34	0.06	-0.06	0.03

渗透性能差，地表径流量大。类型 6 为裸地，同时受人类干扰，作为建设用地新翻土壤，土质疏松，水分渗入量大。崔东海等研究表明，森林在土壤透气性、持水性以及入渗性能方面明显优于草地，森林覆盖是影响土壤持水性能的一个重要因素[8] [9]。但是类型 7 和 8 虽然是森林，林中人类活动频繁，造成土壤紧实，径流量大。

土壤水分渗透性能是评价土壤水源涵养作用的重要指标，同时也是反映土壤抗侵蚀能力的一个指标，是土壤水分研究的重要内容[10]。赵西宁等[11]、党宏忠[12]研究发现，在入渗初期，土壤入渗量大，随着土壤水分的饱和，入渗量趋于稳定，这时达到稳渗状态。入渗速率与入渗时间存在显著幂函数关系[13]。Bodman 等[14]、李裕元[15]等研究表明，土壤初期入渗量与自然含水率相关，自然含水率越大，初期入渗量越小，随着时间的延续，含水率对入渗的影响变小，最后可以忽略。达到稳渗时间与土壤自然含水率存在负相关关系，土壤初期自然含水率大，达到稳渗历时短，反之则长[16]。本研究的入渗规律同上述研究一致。河岸带乔木对河岸带土壤水分物理性质存在影响[8]，类型 7 和类型 8 同为林地类型，类型 7 为乔木，类型 8 为灌丛，类型 7 入渗量明显大于类型 8。类型 5 土壤入渗量最小，类型 3、4、6 入渗量最大，这四个地方受人类干扰最为严重，类型 5 为草地，有植被覆盖，但是小环境受人类踩踏严重，土壤板结，不利于水分下渗。刘贤赵、康绍忠研究发现疏松的土壤被压实后，其入渗速率可以减小到压实前的 2% [17]。土壤质地也是影响河岸带土壤入渗性的一个重要因素[18]。解文艳和樊贵盛在土壤质地对土壤入渗能力的影响研究中提出，土壤质地越粗，透水性能越强，入渗速率从始至终均较大[19]。

土壤水分入渗受制于许多内、外因素，本研究从土壤自然含水率、植被类型、土壤质地、人类活动强度等因素说明不同类型河岸带水分入渗情况。研究中人类活动对土壤入渗性能的影响最为严重，人类活动破坏了土壤原始形态，致使土壤板结或疏松，对土壤水分入渗产生极大影响。同样，土壤自然含水率、植被类型、土壤质地等因素对土壤水分入渗均具有不同程度影响。

## 4.2. 不同类型河岸带土壤氮流失特征分析

本研究中, 土壤总氮、铵态氮、硝态氮流失量均是类型 6 最大, 类型 5 最低, 表明植被覆盖、人类活动强度等因素对土壤氮流失影响很大。类型 6 为裸地, 因此流失量最大, 而类型 5 受人类活动影响, 实验区域小环境内土壤受踩踏严重, 有结皮现象, 土壤紧实, 不利于水分入渗, 径流直接通过地表直接流出, 因此流失量较低。陈志友等研究表明, 植被覆盖能有效减少土壤侵蚀、总氮、总磷的流失, 坡耕地 N、P 流失量大, 说明人类活动对土壤 N、P 的干扰很大[20]。总体来说, 第一次冲刷河岸带土壤氮流失量最大, 然后渐小, 流失量随冲刷次数逐渐降低。对比图 3、图 4 和图 5, 发现土壤氮流失过程中硝态氮流失量大于铵态氮, 主要是因为土壤胶体具有电负性, 能吸附固定土壤中的铵态氮, 而硝态氮不易被土壤胶体吸附, 因此铵态氮不易流失, 而硝态氮容易流失[21] [22] [23] [24]。研究表明: 河岸带有降低地表径流和地下径流中的养分污染物进入河道等水体, 提高水质的作用[25] [26]。本研究中河岸带冲刷径流中 TN、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N 含量均高于原冲刷用水, 对氮素的去除率为负值, 主要与原冲刷用水中 TN、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N 含量较低有关。李怀恩[27]、Abuzreig [28]研究表明, 地表径流流经土壤时, 土壤中的氮磷可通过溶出与解吸对出水浓度产生影响, 在进水浓度较低的情况下, 出现溶出现象, 致使对水体污染物的去除率为负值的情况。

## 4.3. 土壤氮流失的影响因子分析

本研究以冲刷水体氮素含量、土壤理化背景值以及各类型河岸带植被覆盖度和坡度作为影响因子, 利用 Pearson 相关性分析, 分析各影响因子与土壤氮释放相关性, 结果表明: 河岸带土壤径流中铵态氮流失量与土壤背景铵态氮含量存在显著相关性, 与坡度也存在显著相关性, 与其他影响因子无显著相关性, 原因可能是本次研究 8 个样点河岸带因子较多, 影响力分散, 且河岸带为喀斯特地区河岸带, 环境异质性严重。

## 5. 结论

1) 不同类型河岸带土壤地表径流产生量大小不同, 本研究中草地 + 壤土 + 山地、V 型河谷 + 重度干扰类型河岸带地表径流产生量最大, 单次冲刷最大地表径流量为 757 mL; 农业用地 + 水稻田撂荒地 + 丘陵、U 型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰类型与农业用地 + 坡耕地裸地 + 丘陵、U 型沟谷 + 壤土 + 重度人类干扰类型产生量最低, 6 次冲刷均未产生地表径流。水分入渗量则相反, 这三种类型单次冲刷入渗量分别为 43 mL、800 mL、800 mL。影响地表径流产生量和土壤水分入渗量的因子较多, 本研究中受人类活动影响最为严重, 另外与植被覆盖和土壤质地也明显相关。

2) 土壤总氮、铵态氮、硝态氮释放均随冲刷次数增多逐渐减少。河岸带土壤经径流冲刷后, 土壤氮素随径流溶出, 溶出氮素中硝态氮大于铵态氮。总氮、铵态氮、硝态氮流失量最大为建设用地 + 裸地 + 壤土 + 山地、V 型河谷 + 重度干扰类型河岸带, 流失量分别为 4.60 mg/L、1.74 mg/L、2.11 mg/L 流失量最小为草地+壤土+山地、V 型河谷+重度干扰类型河岸带, 流失量分别为 1.56 mg/L、0.45 mg/L、0.47 mg/L。本研究河岸带土壤对氮素没有吸附, 径流流出水中氮素含量大于原冲刷用水, 主要因为原冲刷用水中氮素含量不高, 致使土壤中氮素溶出。

3) 河岸带土壤径流中铵态氮流失量与土壤背景铵态氮含量存在显著相关性, 与坡度也存在显著相关性, 与其他影响因子无显著相关。存在原因可能是本次研究 8 个样点河岸带不同因子较多。

4) 本研究利用径流槽模拟地表径流冲刷河岸带, 既得到了地表径流量、径流中氮流失量, 也认识了不同河岸带入渗特征。



## 参考文献 (References)

- [1] 田树新. 不同河岸带土壤水分物理性质分析[J]. 中国林副特产, 2007(2): 28-30.
- [2] 王家生, 孔丽娜, 林木松, 等. 河岸带特征和功能研究综述[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(11): 28-35.
- [3] 张建春. 河岸带功能及其管理[J]. 水土保持学报, 2001, 16(6): 143-146.
- [4] 王庆成, 于红丽, 姚琴, 等. 河岸带对陆地水体氮素输入的截流转化作用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2611-2617.
- [5] 李天杰. 土壤地理学[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [6] 刘凌云, 卢定彪, 谯文浪, 等. 涟江源区河流地貌特征及其与构造的响应[J]. 贵州地质, 2011, 28(1): 42-46, 22.
- [7] 胡昌元. 涟江水质现状及其对农渔业生产的影响[J]. 环保科技, 1990(1): 28-31.
- [8] 崔东海, 韩壮行, 姚琴, 等. 帽儿山林场不同河岸带植被类型土壤水分物理性质[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(10): 42-44.
- [9] 王力, 邵明安, 王全九. 林地土壤水分运动研究述评[J]. 林业科学, 2005, 41(2): 147-153.
- [10] 马晓刚. 缙云山不同植物群落类型土壤入渗性能研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [11] 赵西宁, 王万忠, 吴发启. 不同耕作管理措施对坡耕地降雨入渗的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 69-72.
- [12] 党宏忠. 祁连山水源涵养林水文特征研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [13] 李军, 杨坤, 张泽光, 等. 冀北山地不同坡位油松林土壤水文效应[J]. 河北林果研究, 2016, 31(1): 8-12.
- [14] Bodman, G.B. and Colman, E.A. (1994) Moisture and Energy Condition during Downward Entry of Water into Soil. *Soil Science Society of America Journal*, **8**, 166-182.
- [15] 李裕元, 邵明安. 降雨条件下坡地水分转化特征实验研究[J]. 水利学报, 2004, 35(4): 48-53.
- [16] 吴发启, 赵西宁, 余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 16-18, 78.
- [17] 刘贤赵, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [18] 武世亮. 土壤入渗特性的空间变异性及与土壤物理特性的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [19] 解文艳, 樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(5): 537-540.
- [20] 陈志良, 程炯, 刘平, 等. 暴雨径流对流域不同土地利用土壤氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 30-33.
- [21] 焦平金, 许迪, 王少丽, 等. 自然降雨条件下农田地表产流及氮磷流失规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 534-540.
- [22] 刘强, 邓仕槐, 敬子卉, 等. 不同植物篱系统对坡耕地农田径流污染物的去除效果[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(6): 1136-1143.
- [23] 孙铁军, 刘素军, 武菊英, 等. 6种禾草坡地水土保持效果的比较研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 158-162.
- [24] 米艳华, 潘艳华, 沙凌杰, 等. 云南红壤坡耕地的水土流失及其综合治理[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 17-21.
- [25] Hill, A.E. (1996) Nitrate Removal in Stream Riparian Zones. *Journal of Environmental Quality*, **25**, 743-755. <https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500040014x>
- [26] 谭炳卿, 孔令金, 尚化庄. 河流保护与管理综述[J]. 水资源保护, 2002(3): 53-57.
- [27] 李怀恩, 邓娜, 杨寅群, 等. 植被过滤带对地表径流中污染物的净化效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 81-86.
- [28] Abuzreig, M., Rudra, R.P., Whiteley, H.R., et al. (2003) Phosphorus Removal in Vegetated Filter Strips. *Journal of Environmental Quality*, **32**, 613-619. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.6130>

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)