# 沟渠中不同植被盖度减少 C,N,P 侵蚀流失的有效性研究

周小淇，陈婷婷，李 勇，杨翠红，吴宗猛，郭 豪，杨江怡，王 旭，黄智刚
（广西大学 农学院/广西农业环境与农产品安全重点实验室，广西 南宁 530004）

**摘　要：**［目的］探究植物在降低沟渠侵蚀及减少 C,N,P 流失方面的影响，为流域沟渠侵蚀防控及污染物治理提供技术支撑。［方法］以中国南亚热带集约化蔗区那辣流域沟渠为研究对象，在沟渠中植入不同植被盖度（BG：全部裸露，植被覆盖度为 0；SC：部分覆盖，植被覆盖度 1%～40%；MC：大部分覆盖，植被覆盖 41%～80%；CC：全覆盖，植被覆盖 81%～100%）的草本植物香根草，对 4—10 月的植草沟渠在降雨后定期实地调查和监测，量化不同植被盖度下沟渠的侵蚀与养分流失特征。［结果］①4—10 月份，不同植被盖度沟渠宽度、侵蚀量、C,N,P 流失量随着时间的增加逐渐增加，大小均表现为：BG＞SC＞MC＞CC；②相比于 BG，SC，MC 和 CC 沟渠侵蚀量分别降低了 37.01%，71.60%和 75.04%，C 流失量分别降低了35.56%，70.91%和 75.23%，N 流失量分别降低了 35.89%，71.01%和 74.39%，P 流失量分别降低了 34.22%，70.59%和 77.01%；③通过相关性分析表明沟渠侵蚀量与覆盖度和植物根系密度均达到极显著负相关关系（$p<0.01$），分别解释了沟渠侵蚀变化的 91.94%和 89.23%。［结论］流域内植草，随着沟渠植被盖度的增加，沟蚀量和养分流失量逐渐降低，且植被盖度在处理 MC 和 CC 之间差异不显著，在改善其他水源区沟渠的侵蚀及降低污染物方面可提供参考依据。

**关键词：**沟渠；植被盖度；C,N,P；侵蚀流失
**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-288X(2023)05-0062-07　　**中图分类号：**S157.1

**文献参数：**周小淇，陈婷婷，李勇，等.沟渠中不同植被盖度减少 C,N,P 侵蚀流失的有效性研究[J].水土保持通报，2023，43(5)：62-68.DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.20230327.001；Zhou Xiaoqi，Chen Tingting，Li Yong，et al. Reducing erosion of C，N，and P by different vegetation coverage in ditches [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2023，43(5)：62-68.

# Reducing Erosion of C，N，and P by Different Vegetation Coverage in Ditches

Zhou Xiaoqi，Chen Tingting，Li Yong，Yang Cuihong，
Wu Zongmeng，Guo Hao，Yang Jiangyi，Wang Xu，Huang Zhigang
（*College of Agriculture，Guangxi University/Guangxi Key Laboratory of Agricultural Environment and Agricultural Products Safety，Nanning，Guangxi* 530004，*China*）

**Abstract：**［Objective］The influences of plants on reducing ditch erosion and C，N and P loss were studied in order to provide technical support for the prevention of ditch erosion and pollution control.［Methods］The study was conducted on ditches of the Nala River Basin in the intensive sugarcane growing area of southern subtropical China. Vetiver（Vetiveria zizanioides，a herbaceous plant）was planted at different vegetation coverage amounts（BG：bare ground，vegetation coverage of 0%；SC：somewhat covered，vegetation coverage of 1—40%；MC：mostly covered，vegetation coverage of 41－80%；CC：completely covered，vegetation coverage of 81—100%）in the ditches. Regular field investigation and monitoring of planted ditches were conducted after rainfall events from April to October，and the characteristics of erosion and nutrient loss under different vegetation coverage were quantified.［Results］① From April to October，the width，erosion amount，and nutrient loss of ditches with different vegetation coverage gradually increased over time. Values for all

**收稿日期：**2023-01-09　　**修回日期：**2023-02-20
**资助项目：**国家自然科学基金项目“湿热区土壤水蚀面源污染对垦殖强度的响应：中缅泰对比研究”(42220104004)
**第一作者：**周小淇(1998—)，女(汉族)，广西壮族自治区玉林市人，硕士，研究方向为土壤侵蚀。Email：1479062525@qq.com。
**通信作者：**李勇(1958—)，男(汉族)，陕西省蒲城县人，博士，教授。主要从事农业面源污染追因与防控研究。Email：lyong@caas.cn。

three parameters followed the same order of BG＞SC＞MC＞CC; ② Compared with BG, the erosion amounts for SC, MC, and CC decreased by 37.01%, 71.60%, and 75.04%; C loss decreased by 35.56%, 70.91%, and 75.23%; N loss decreased by 35.89%, 71.01%, and 74.39%, and P loss decreased by 34.22%, 70.59%, and 77.01%, respectively; ③ Correlation analysis showed that the erosion amount for ditches was significantly negatively correlated with vetiver grass coverage and plant root density ($p<0.01$), accounting for 91.94% and 89.23% of the erosion changes, respectively. [Conclusion] As vegetation coverage increased, ditch erosion and nutrient loss gradually decreased. There were no significant differences in ditch erosion and nutrient loss when vegetation coverage was between MC and CC. These results provide guidance for ameliorating ditch erosion and reducing pollutants in other water source areas.

**Keywords: ditch; vegetation coverage; C, N, P; erosion loss**

沟渠作为农业景观中普遍存在的一种有效地排水措施,为农田与水体的过渡带,主要是为了农田排水防涝、灌溉农作物和降低洪水风险而修建,具有多重功效,是农田碳、氮、磷等面源污染物的汇聚地[1-4]。其本质上属于源头溪流,如毛细血管一般,直接联系着农田与自然河湖水体,亦是水体泥沙和富营养化水体的营养物质输入源[5]。据报道,相比于河流、溪流、池塘和湖泊等其他水体,农业排水沟渠与密集的农业活动紧密相关,泥沙、肥料、杀虫剂、除草剂等在降雨径流的作用下对水体的危害更直接[6-7]。在全球约有 $1.90\times10^8$ $hm^2$ 的农业土地被人为的用于修建排水沟渠[8]。随着时间的推移,土壤、地形、植被、气候、降雨强度、径流量、坡面水流速度等环境因素和人为因素如土地利用、耕作过程中大规模的机械干扰和管理过程等均可对农业排水沟渠产生影响导致其退化[7,9]。近年来,有关沟渠的研究大多致力于沟渠污染物的迁移转化、拦截净化方面[10-12],对于沟渠植物降低侵蚀、滞留和吸收污染物的研究还略有不足。

植被覆盖可以有效的降低沟渠土壤侵蚀[13-14],土壤侵蚀和迁移可能导致的沟渠下游或上游所忽略的侵蚀/沉积及养分沿沟渠向下游输移[9]。其不稳定性严重影响着沟渠的水流能力,因为从沟渠两岸移走的土壤最终大部分会沉积在沟渠内[15]。坡长和坡度与沟渠的排水密度之间强烈的相互作用,增加了泥沙和径流的输运能力[16]。人类活动间接或直接的影响,如种植模式、植被覆盖、沟渠植草等利用植物根系增加土壤的抗剪强度,同时根据沟道中植物根系的配置以增加沟岸的稳定性,因为根系能够将土壤颗粒团聚在一起,增加了土壤的抵蚀性,减少沟渠水流造成的侵蚀力[17-19]。因此,探究沟渠侵蚀过程中的变化特征对沟渠治理具有非常重要的依据。

甘蔗作为世界上重要的糖料作物,也是重要的战略储备原料,中国在世界种植甘蔗的国家排行前列。广西是中国甘蔗种植最多的省份,甘蔗的种植面积和食糖产量占比超过六成[20]。且大多种植于丘陵区,其土层薄、蓄水性差,在暴雨作用下,污染物随径流进入沟渠、且沟渠极易垮塌,该区域经过农业集约化以后,导致沟渠侵蚀增加了 301%,氮和磷流失分别增加了 269.3%和 269.8%[21]。黄俣晴等[18]在流域下游进行了植物的梯级拦截植物,得出植物能够消减水体中 31.90%的氮和 31.02%的磷,但并未确定植物是否能够降低沟渠侵蚀及减少侵蚀土壤的氮磷流失情况。为此,本研究选择那辣流域为研究区域,以上游的田间排水沟渠为研究对象,在沟渠内种植不同植被盖度的草本植物,探究其对沟渠侵蚀及减少 C,N,P 侵蚀流失的影响,以期为流域沟渠侵蚀防控及污染物治理方面提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区崇左市扶绥县东罗镇客兰水库上游那辣小流域(107°39′29″—107°39′29″E, 22°20′36″—22°20′36″N)。流域面积为 3 $km^2$,地势东高西低,起伏不定,是典型的封闭流域。小流域属于亚热带季风气候,平均气温 1 月最低,为 13.8 ℃,7 月平均气温最高为 28.1 ℃,年平均气温 20.8 ℃。年均降水量 1146 mm,降水主要发生在 3—10 月份。2021 年总降雨量为 1 110 mm,与多年降雨量均值之间差异不显著,土壤容重范围在 1.5～1.56 $g/m^3$ 之间。流域土地利用类型以甘蔗种植为主,坡度 0°～35°。

### 1.2 试验设计

2021 年初,在流域上游 295 m 的沟渠(坡度≤2°)中种植不同盖度的草本植物香根草。集水区避开试验区且位于各处理 10 m 间隔之间。从起点的第 10～280 m 之间每隔 10 m 在沟渠两岸打入木桩,沟壁和沟底隔段种植不同盖度的草本植物香根草(因其根系发达、易存活、抗旱、抗涝,分蘖强、适应性好且根系不蔓延,适宜于南亚热带沟渠种植[18,22]。),分为 4 个处理:裸露(BG)植被覆盖 0 为对照、少部分覆盖(SC)植被覆盖度 1%～40%、大部分覆盖(MC)植被覆盖

41%～80%、全覆盖(CC)植被覆盖 81%～100%。每一个处理长 10 m，且两处理间隔 10 m，各处理随机重复 3 次。种完香根草后对沟渠进行测量，后期每月月底沿各木桩处对沟渠沟宽、沟深进行 1 次测量。

### 1.3　样品采集与测定

1.3.1　采集　沟渠侧壁土壤样品采集：每次降雨后在沟渠左、右两侧沟壁上、中、下部分别取 3 个环刀(高 10 cm，直径 5 cm)作为一个混合样，用于计算土壤容重。在同样的地点采集土壤，得到 3 个混合样品，用于总氮、总磷及土壤有机质含量的测定。

1.3.2　覆盖度、根系密度测定　在每个试验区段的入口、中间和出口处放入 0.5 m×0.5 m 的样方，样方内分为 10×10＝100 个小格，小格占满的为 1，裸露的为 0，其他估算，得出样方内植被覆盖度后求平均值。

采用 Li 等[23] 所述方法，采样并测定根密度($mg/dm^3$)。

1.3.3　土壤理化性质测定　土壤全氮(Total nitrogen，TN)采用凯氏定氮法测定，土壤全磷(Total phosphorus)采用高氯酸—硫酸法测定，土壤有机碳(soil organic carbon，SOC)采用重铬酸钾氧化—外加热法测定[24]。

### 1.4　数据计算与处理

1.4.1　沟渠侵蚀体积计算　每 10 m 为一个单元计算一次梯形面积，而后将上一段梯形面积与下一段梯形面积计算平均值，及为 10 m 沟渠的横截面积，进而求出此 10 m 沟渠体积。沟渠侵蚀体积计算公式如下：

$$V=\frac{(a+b)}{2}\times h\times 10 \tag{1}$$

式中：$a$ 和 $b$ 分别代表量取的上宽和下宽(m)；$h$ 代表沟渠高度(m)。

沟渠侵蚀土壤流失量计算公式如下：

$$DE_n=(V_n-V_{n-1})\times BD \tag{2}$$

式中：$V$ 是沟渠侵蚀总体积($m^3$)；$n$ 为月份；BD 是沟渠侧壁土壤容重($g/cm^3$)

沟渠侵蚀氮或磷流失百分比计算方法为：

$$N/P/OC=DE\times N_C/P_C/OC_C \tag{3}$$

式中：$N$，$P$，OC 为沟渠侵蚀导致的总氮、总磷、有机碳流失量(kg)；$N_C$，$P_C$，$OC_C$ 分别为土壤总氮、总磷、有机碳含量(g/kg)。

1.4.2　数据处理　使用 Excel 2019 和 SPSS 25.0 软件对数据进行处理和分析，采用单因素方差分析(ANOVA)在 $\alpha=0.05$ 水平时对不同处理的沟蚀量及总氮、总磷和有机碳流失量进行显著性比较。

## 2　结果与分析

### 2.1　不同植被盖度沟形随时间的变化特征

由表 1 可知，BG，SC，MC，CC4 种处理的沟渠宽度随着时间的增加逐渐增加，且 BG 和 SC 的宽度增加迅速，MC 和 CC 较为缓慢，但 CC 的深度随时间出现不规律的变化，变化幅度较小。4 种处理沟渠宽度变化差异不显著，BG 与 SC，MC 和 CC 三者的沟渠深度变化达到显著性差异，SC，MC 和 CC 三者间差异不显著。同一时间宽度大小均为：BG＞SC＞MC＞CC，4—9 月深度大小则为：BG＞CC＞SC＞MC。4—10 月，BG，SC，MC，CC4 种处理的沟渠平均宽度分别增加了 0.47，0.35，0.21，0.18 m，BG 和 SC 深度分别增加了 0.04，0.03 m，MC 和 CC 均降低了 0.01 m。相比于 BG 沟渠宽度和深度变化量，SC，MC 和 CC 宽度变化量分别降低了 25.53%，55.32%和 61.70%，深度分别降低了 25%，125%和 125%。

**表 1　不同植被盖度沟渠随时间的变化特征**

**Table 1　Variation characteristics of ditches with different vegetation coverage over time**

| 时间 | BG | | SC | | MC | | CC | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均宽度/m | 平均深度/m | 平均宽度/m | 平均深度/m | 平均宽度/m | 平均深度/m | 平均宽度/m | 平均深度/m |
| 4 月 | 2.29±0.44[a] | 1.40±0.11[a] | 2.38±0.55[a] | 1.13±0.11[b] | 2.41±0.16[a] | 1.11±0.08[b] | 2.42±0.35[a] | 1.16±0.07[b] |
| 5 月 | 2.39±0.45[a] | 1.40±0.08[a] | 2.44±0.55[a] | 1.13±0.12[b] | 2.45±0.17[a] | 1.10±0.08[b] | 2.46±0.35[a] | 1.16±0.06[b] |
| 6 月 | 2.45±0.46[a] | 1.41±0.08[a] | 2.49±0.56[a] | 1.14±0.12[b] | 2.48±0.18[a] | 1.10±0.08[b] | 2.48±0.36[a] | 1.16±0.06[b] |
| 7 月 | 2.55±0.47[a] | 1.41±0.07[a] | 2.55±0.57[a] | 1.14±0.12[b] | 2.52±0.18[a] | 1.10±0.08[b] | 2.52±0.36[a] | 1.15±0.06[b] |
| 8 月 | 2.58±0.47[a] | 1.41±0.07[a] | 2.57±0.57[a] | 1.14±0.12[b] | 2.53±0.19[a] | 1.10±0.08[b] | 2.53±0.36[a] | 1.15±0.06[b] |
| 9 月 | 2.62±0.48[a] | 1.42±0.07[a] | 2.59±0.57[a] | 1.14±0.11[b] | 2.55±0.19[a] | 1.10±0.08[b] | 2.54±0.37[a] | 1.16±0.06[b] |
| 10 月 | 2.76±0.49[a] | 1.44±0.08[a] | 2.73±0.59[a] | 1.16±0.11[b] | 2.62±0.19[a] | 1.10±0.08[b] | 2.60±0.38[a] | 1.15±0.06[b] |

注：BG 表示全部裸露，植被覆盖度为 0；SC 表示少部分覆盖处理，植被覆盖度 1%～40%，MC 表示大部分覆盖处理，植被覆盖 41%～80%，CC 表示全覆盖处理，植被覆盖 81%～100%；不同字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

### 2.2　不同植被盖度沟渠随时间的侵蚀量

由图 1 可知，沟渠的侵蚀量在不同月份均为：BG＞SC＞MC＞CC，5—9 月 SC 和 BG，MC 侵蚀量之间均达到显著性差异($p<0.05$)，MC 和 CC 之间差异不显著，8 月 4 种处理的沟渠侵蚀量最小，10 月最大，且其 BG 和 SC，MC 和 CC 之间差异不显著。5—10 月，

BG,SC,MC 和 CC 的侵蚀量范围分别为 3.00～11.04,1.40～8.78,0.77～3.69,0.70～3.15 t,沟渠平均侵蚀量分别为 5.81,3.66,1.65,1.45 t,相比于 BG 沟渠侵蚀量,SC,MC 和 CC 沟渠侵蚀量分别降低了 37.01%,71.60%和 75.04%。

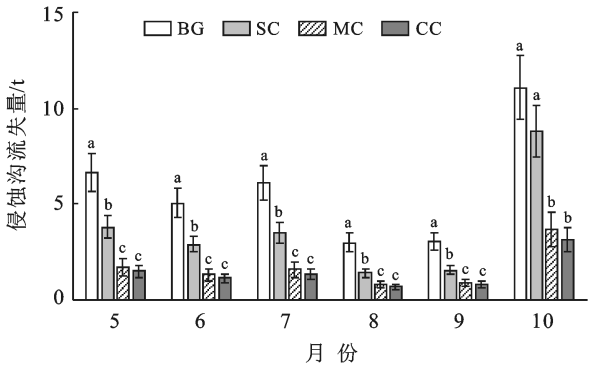



**图 1 不同植被盖度沟渠随时间的侵蚀量**

**Fig. 1 Erosion of ditches with different vegetation coverage over time**

## 2.3 不同植被盖度沟渠随时间的 C 流失特征

由图 2 可知,沟渠的 C 流失量在不同月份均为:BG>SC>MC>CC,5 月 C 流失量 SC 与 BG 和 MC 之间均达到显著性差异($p<0.05$),6—9 月 SC,MC 和 CC 之间的 C 流失量之间差异均不显著,且 8 月 4 种处理的沟渠 C 流失量最小,10 月份最大。5—10 月,BG,SC,MC 和 CC 的 C 流失量范围分别为 48.25～198.43,22.12～155.71,10.68～68.67,10.33～51.47 kg,沟渠 C 平均流失量分别为 98.42,63.34,28.63,24.38 kg,相比于 BG 沟渠 C 流失量,SC,MC 和 CC 沟渠 C 流失量分别降低了 35.56%,70.91%和 75.23%。

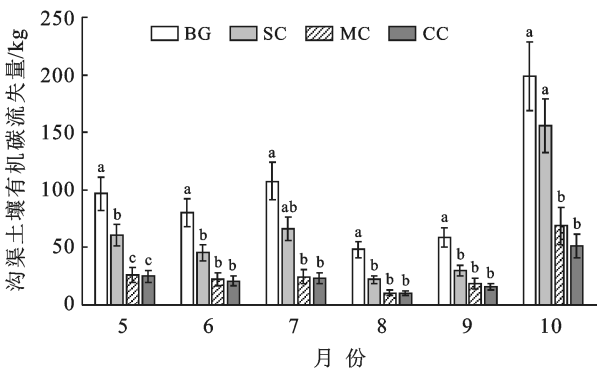



**图 2 不同植被盖度沟渠随时间的 C 流失特征**

**Fig. 2 Characteristics of C loss in ditches with different vegetation cover over time**

## 2.4 不同植被盖度沟渠随时间的 N 流失特征

由图 3 可知,沟渠的 N 流失量在不同月份均为:BG>SC>MC>CC,5—9 月 N 流失量 SC 和 BG,MC 之间均达到显著性差异($p<0.05$),MC 和 CC 之间差异不显著,且 9 月 4 种处理的沟渠 N 流失量最小,10 月最大,且其 N 流失量 BG 和 SC,MC 和 CC 之间差异不显著。5—10 月,BG,SC,MC 和 CC 的 N 流失量范围分别为:3.18～11.23,1.71～9.23,0.92～3.82,0.85～3.27 kg,沟渠平均 N 流失量分别为 6.52,4.18,1.89,1.67 kg,相比于 BG 沟渠 N 流失量,SC,MC 和 CC 沟渠 N 流失量分别降低了 35.89%,71.01%和 74.39%。

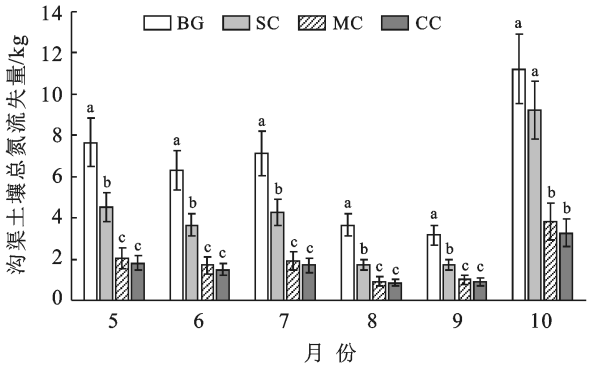



**图 3 不同植被盖度沟渠随时间的 N 流失特征**

**Fig. 3 Characteristics of N loss in ditches with different vegetation cover over time**

## 2.5 不同植被盖度沟渠随时间的 P 流失特征

由图 4 可知,沟渠的 P 流失量在不同月份均为:BG>SC>MC>CC,5,6,8 月 P 流失量 SC 和 BG 之间均达到显著性差异,同样 5 月 MC 和 CC 的 P 流失量之间差异显著($p<0.05$),且 9 月 4 种处理的沟渠 P 流失量最小,10 月最大。5—10 月,P 流失量 MC 和 CC 之间均差异不显著,BG,SC,MC 和 CC 的 P 流失量范围分别为 0.86～3.58,0.52～2.85,0.34～1.29,0.52～2.85 kg,沟渠 P 平均流失量分别为 1.87,1.23,0.55,0.43 kg,相比于 BG 沟渠 P 流失量,SC,MC 和 CC 沟渠 P 流失量分别降低了34.22%,70.59%和 77.01%。

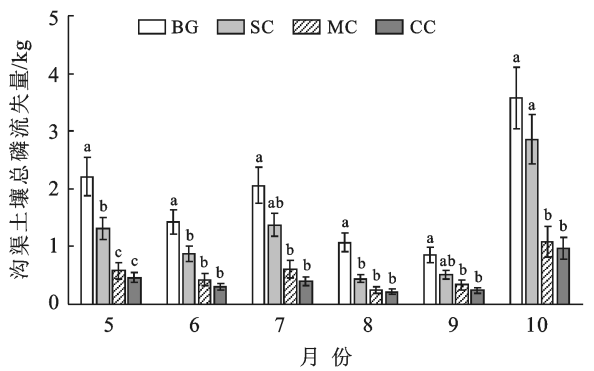


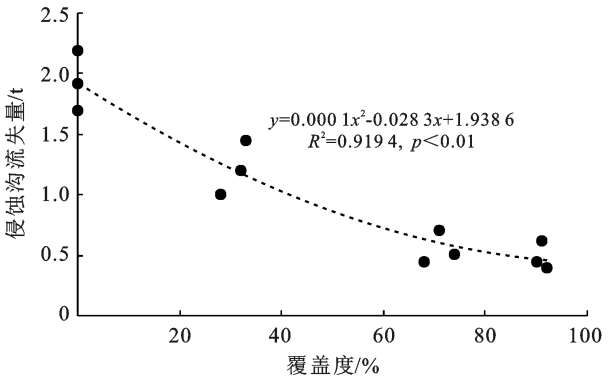

**图 4 不同植被盖度沟渠随时间的 P 流失特征**

**Fig. 4 Characteristics of P loss over time in ditches with different vegetation coverage**

## 2.6 沟渠侵蚀的影响因素

由图 5 可知,沟渠侵蚀量随着植被覆盖度和根系

密度的增加而逐渐减少，且沟渠侵蚀量与覆盖度和植物根系密度均达到极显著负相关关系（$p<0.01$），植被覆盖度解释了沟渠侵蚀变化的91.94%，高密度的植被覆盖削减了雨滴散落时的冲涮动能，此外，沟渠覆盖度增加了地表粗糙度，降低了水文连通性，使得沟渠侵蚀逐渐减弱。植物根系密度解释沟渠侵蚀变化的 89.23%，这一过程中，根系密度越高，其缠绕、固土能力越强，增加了沟渠土壤的抗蚀稳定性。



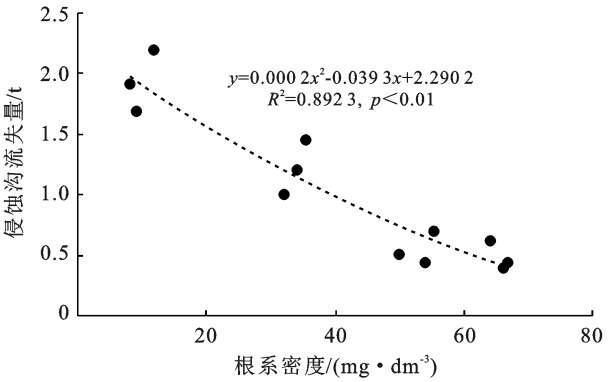




**图 5　沟渠侵蚀的影响因素（覆盖度和根系密度）**

**Fig. 5　Influencing factors of channel erosion (coverage and root density)**

# 3　讨 论

## 3.1　沟渠随时间的侵蚀特征与侵蚀量

不同植被盖度的沟渠变化特征和侵蚀量均不同，本研究中，同一时间不同植被盖度沟渠宽度大小为：BG＞SC＞MC＞CC，深度大小则为：BG＞CC＞SC＞MC。4—10 月，相比于 BG，SC，MC 和 CC 宽度变化量别降低了 25.53%，55.32%和 61.70%，深度变化量分别降低了 25%，125%和 125%，结果表明：随着沟渠植被盖度越大，沟渠宽度和深度增加越缓慢。研究表明植物覆盖可以通过茂盛的地上冠层直接拦截、降低雨滴的动能，减少河岸土壤的侵蚀[25]。此外，流域内 4—5 月甘蔗生长属于苗期，甘蔗生长缓慢，根系较少且固土能力差，土壤抗冲性较弱，坡面植被覆盖度低，进入伸长期后，甘蔗叶片增多，根系发育完全，植物冠层增大，水文连通性降低，径流侵蚀减弱，沟渠特征变化较小和侵蚀流失发生少[26]。因此本研究中 5—9 月的侵蚀量变化的趋势较为稳定。而 10 月研究区台风“圆规”造成特大暴雨，使得沟渠侵蚀特征和侵蚀量迅速增加，这与王京行等[27]研究表明随着降雨强度的增大，不同植被覆盖度的侵蚀率均增大的结果基本一致。本研究中沟渠的侵蚀量在不同月份均是：BG＞SC＞MC＞CC，沟渠平均侵蚀量分别为：5.81，3.66，1.65 和 1.45 t，相比于 BG 沟渠侵蚀量，SC，MC 和 CC 沟渠侵蚀量分别降低了 37.01%，71.60%和75.04%。唐诚[28]研究表明覆盖度为 69%和 47%的河段比覆盖度低于 10%的河段沟渠侵蚀下降更明显，彭琼等[29]利用不同种植密度的小麦模拟不同覆盖度对土壤侵蚀影响表明当作物覆盖度为 70%时，减少土壤侵蚀高达 77%。与本文所述随着沟渠植被盖度的增加，侵蚀显著降低的结果相一致。

## 3.2　沟渠侵蚀产生的 C，N，P 流失

不同植被盖度和时间的沟渠侵蚀量与 C，N，P 流失量均不同，本研究中不同植被盖度沟渠 C，N，P 流失量大小均表现出：BG＞SC＞MC＞CC，相比于 BG，SC，MC 和 CC 的 C 流失量分别降低了 35.56%，70.91%和 75.23%，N 流失量分别降低了 35.89%，71.01%和74.39%，P 流失量分别降低了 34.22%，70.59%和 77.01%。本研究结果表明：裸露的沟渠能够导致侵蚀大量发生，植被盖度的增加会降低沟渠侵蚀 C，N，P 流失。5—10 月，随着时间的增加，沟渠中不同盖度的植被地上冠层和地下根系持续增加，其拦截、过滤、吸收氮、磷污染物能力增强的同时进行了植物固碳，从而达到减少 C，N，P 流失的效果。安瞳昕等[30]研究表明植物根系的增加能够拦截、降低坡面土壤侵蚀及污染物进一步输移，减少了入河。也有学者研究表明沟渠植物能够够拦截、过滤、吸附沟渠水体中的泥沙及污染物，同时沟渠植物减缓了水流速度，增加了泥沙及氮、磷的滞留时间，在这一过程中通过颗粒物的沉淀、沟渠底泥吸附等增加沟渠对污染物的滞留效果[31-32]，此外，有研究表明香根草种植可以将坡面移动率由 10%降低到 2%，同时其根系可以将边坡稳定性提高 30%[33]。相比于以往研究，本文定量的解析了不同植被盖度下污染物的流失特征，明确了不同植被覆盖度对控制沟渠侵蚀及养分流失的实际作用，为今后沟渠侵蚀治理提供参考依据。

## 3.3　影响沟渠侵蚀的因素

沟渠侵蚀是一种不可避免的自然现象，在世界不

同地区都有所发生。沟渠土壤特性、植被覆盖度、植物根系密度、气候、坡长等环境因子和人为机械扰动等均能对沟渠侵蚀产生影响[28]。在本研究中,主要探讨了沟渠侵蚀与植被盖度和根系密度之间的相关性,结果表明:沟渠侵蚀量与覆盖度和植物根系密度均达到极显著负相关关系($p<0.01$),沟渠侵蚀量随着覆盖度和根系密度的增加而减小,分别解释了沟渠侵蚀变化的91.94%和89.23%,沟渠侵蚀及养分流失的可能因素主要有植物根系密度、沟渠植被覆盖的改变。相比于植草沟渠,裸露沟渠改变了水文连通性,暴露的土壤表面受到雨滴的直接冲击的影响,可以增加土壤颗粒脱离,使得土壤脆弱性增强,并且触发集中流侵蚀,其加速了沟渠的土壤侵蚀和养分流失[34]。同样,增加的植被盖度和根系密度加强了土壤固结能力,使得沟渠土壤入渗性和稳定性增强。本研究中,随着沟渠植被盖度和根系密度的增加,沟渠侵蚀和养分流失均逐渐减小。沟渠植被覆盖创造了土壤小气候,使得沟渠底泥提升了微生物活性并促进了有机肥的有效性,利于植物更好的生长,微生物分泌物和有机质加速了土壤团聚体的形成,进一步增加了沟渠土壤的抗侵蚀能力[35],朱冰冰等[36]表示植物通过地上部冠层、地表枯落物和茎秆及地下部根系保护土壤减少侵蚀。随着地表植物和冠层对河岸覆盖的增加,河岸侵蚀与植被覆盖呈指数或线性下降。前学者研究表明,地表覆盖面积增加100倍,地表径流约减少200倍[37]。这与本研究所阐述的影响沟渠侵蚀的因素基本一致,但有关影响沟蚀的其他因素仍需进一步研究。

## 4 结论

本研究通过对南亚热带蔗区小流域沟渠种植不同植被盖度的草本植物,结合流域实地调查和室内分析。结果表明,沟渠植被盖度越大,沟渠特征变化越小,沟渠侵蚀和C,N,P流失会随着植被盖度的增加而降低。沟渠中种植不同植被盖度的草本植物能够减少沟渠侵蚀,同时拦截、过滤泥沙及污染物,且通过增加沟渠植被盖度能够对蔗区农田排水沟渠侵蚀和泥沙、氮、磷养分流失起到防控作用,进一步降低泥沙及氮、磷污染物入河负荷,改善水环境。本研究虽然在南亚热带集约化蔗区小流域进行,但其在改善其他水源区沟渠的侵蚀及降低污染物方面能够提供参考依据。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 陆宏鑫,吕伟娅,严成银.生态沟渠植物对农田排水中氮磷的截留和去除效应[J].江苏农业学报,2013,29(4):791-795.

[2] Hill M J, Chadd R P, Morris N, et al. Aquatic macroinvertebrate biodiversity associated with artificial agricultural drainage ditches [J]. Hydrobiologia, 2016, 776(1):249-260.

[3] 李如忠,殷齐贺,高苏蒂,等.农业排水沟渠硝态氮吸收动力学特征及相关性分析[J].环境科学,2018,39(5):2174-2183.

[4] Clarke S J. Conserving freshwater biodiversity: The value, status and management of high quality ditch systems [J]. Journal for Nature Conservation, 2015,24:93-100.

[5] 韩例娜,李裕元,石辉,等.水生植物对农田排水沟渠氮磷迁移生态阻控效果比较研究[J].农业现代化研究,2012,33(1):117-120.

[6] Williams P, Whitfield M, Biggs J, et al. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England [J]. Biological Conservation, 2004,115(2):329-341.

[7] Davies B R, Biggs J, Williams P J, et al. A comparison of the catchment sizes of rivers, streams, ponds, ditches and lakes: Implications for protecting aquatic biodiversity in an agricultural landscape [J]. Hydrobiologia,2008,597(1):7-17.

[8] Biggs J, von Fumetti S, Kelly-Quinn M. The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: Implications for policy makers [J]. Hydrobiologia, 2017,793(1):3-39.

[9] Avilés D. Soil Erosion and Mass Movement in Agricultural Drainage Ditches[D]. Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, 2020.

[10] 宋立芳,王毅,吴金水,等.水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响[J].环境科学,2014,35(1):150-156.

[11] 彭世彰,熊玉江,罗玉峰,等.稻田与沟塘湿地协同原位削减排水中氮磷的效果[J].水利学报,2013,44(6):657-663.

[12] 张燕,祝惠,阎百兴,等.排水沟渠炉渣与底泥对水中氮、磷截留效应[J].中国环境科学,2013,33(6):1005-1010.

[13] Freeman M W. Region Ⅲ Forest Resources & Practices Riparian Management Annotated Bibliography [M]. Alaska:Alaska Board of Forestry, 2000.

[14] Wynn T M, Mostaghimi S, Alphin E F. The effects of vegetation on stream bank erosion[C]//2004 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004:1.

[15] Aviles D, Wesström I, Joel A. Effect of vegetation removal on soil erosion and bank stability in agricultural drainage ditches [J]. Land, 2020,9(11):441.

[16] 刘冉,余新晓,蔡强国,等.坡长对坡面侵蚀、搬运、沉积过程影响的研究进展[J].中国水土保持科学(中英文),

2020,18(6):140-146.

[17] Li Yong, Mo Yaqi, Are K S, et al. Sugarcane planting patterns control ephemeral gully erosion and associated nutrient losses: Evidence from hillslope observation [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2021, 309:107289.

[18] 黄俣晴,陈婷婷,李勇,等.流域沟渠植草拦截农田氮磷入河污染的有效性研究[J].植物营养与肥料学报,2021,27(11):1993-2000.

[19] Levavasseur F, Biarnès A, Bailly J S, et al. Time-varying impacts of different management regimes on vegetation cover in agricultural ditches [J]. Agricultural Water Management, 2014,140:14-19.

[20] 李炳杨.广西甘蔗种植现状、问题及对策[J].热带农业科学,2018,38(4):119-127.

[21] Li Yong, Tang Cheng, Huang Zhigang, et al. Increase in farm size significantly accelerated stream channel erosion and associated nutrient losses from an intensive agricultural watershed [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020,295:106900.

[22] 马博英.香根草逆境生理生态适应研究进展[J].生物学杂志,2009,26(1):65-68.

[23] Li Y, Yu H Q, Zhou N, et al. Linking fine root and understory vegetation to channel erosion in forested hillslopes of southwestern China [J]. Plant and Soil, 2015,389(1):323-334.

[24] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[25] Puigdefábregas J. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2005,30(2): 133-147.

[26] 杨翠红,周小淇,郭豪,等.甘蔗种植配置模式对坡面沟蚀及土壤有机碳流失的影响研究[J/OL].江苏农业科学:1-10[2023-03-06]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20230104.1127.003.html

[27] 王京行,吕刚,李晗,等.排土场边坡土壤侵蚀特征对雨强和植被覆盖度的响应[J].灌溉排水学报,2021,40(S1):36-39.

[28] 唐诚.广西集约化蔗区沟渠侵蚀及其污染物输移与控制措施[D].广西 南宁:广西大学,2021.

[29] 彭琼,刘宝元,曹琦,等.作物覆盖度对土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报,2022,36(5):97-103.

[30] 安瞳昕,周锋,吴珍珍,等.坡耕地间作作物群体水土保持耕作措施[J].水土保持研究,2019,26(2):17-22.

[31] Daniel W. Baker, Brian P. Bledsoe, Jennifer Mueller Price. Stream nitrate uptake and transient storage over a gradient of geomorphic complexity, north-central Colorado, USA[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(21):3241-3252.

[32] da Fonseca A F, Melfi A J, Monteiro F A, et al. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass [J]. Agricultural Water Management, 2007,87(3):328-336.

[33] Su Yuanyi, Zhang Yang, Wang Huanyuan, et al. Interactive effects of rainfall intensity and initial thaw depth on slope erosion [J]. Sustainability, 2022, 14(6):3172.

[34] Li Yong, Are K S, Huang Zhigang, et al. Particulate N and P exports from sugarcane growing watershed are more influenced by surface runoff than fertilization [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020,302:107087.

[35] Gyssels G, Poesen J, Bochet E, et al. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review [J]. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 2005,29(2):189-217.

[36] 朱冰冰,李占斌,李鹏,等.草本植被覆盖对坡面降雨径流侵蚀影响的试验研究[J].土壤学报,2010,47(3):401-407.

[37] Stanley W. Trimble, Alexandra C. Mendel. The cow as a geomorphic agent: A critical review [J]. Geomorphology,1995,13(1/4): 233-253.