

# 若尔盖湿地土壤入渗性能及其影响因素

郑凯利<sup>1</sup>, 邓东周<sup>2</sup>

(1. 四川水利职业技术学院, 成都 611231; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

**摘 要:**采集若尔盖湿地土壤退化过程中 4 种典型土壤(泥炭土、沼泽土、草甸土、风沙土)进行了室内模拟分析,采用双环入渗法研究若尔盖湿地土壤退化过程中土壤入渗性能及其影响因素。结果表明:(1) 土壤有机碳、含水量、毛管孔隙度、1~0.05 mm 颗粒组成、>5 mm、>2 mm 和>0.25 mm 水稳性团聚体随着土层深度的增加呈逐渐降低趋势,而土壤容重、非毛管孔隙度和<0.01 mm 颗粒组成随着土层深度的增加呈逐渐增加趋势。(2) 不同土壤类型土壤入渗过程差异明显,入渗速率在开始阶段陡降,随着时间的推移,下降幅度逐渐减小,最后达到稳渗;泥炭土达稳定入渗的时间最长,达 130 min;风沙土达到稳渗的时间最短,仅为 80 min。(3) 土壤入渗特征为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,不同土层土壤初始入渗率、稳定入渗率、平均渗透率和渗透总量均随着土层深度的增加而降低。(4) 采用的 3 种公式都能较好地模拟出降雨向土壤中入渗的过程,但从相关系数  $r$  绝对值来看,考斯加可夫公式拟合效果较菲利浦入渗公式和霍顿公式好。(5) 相关性分析表明,土壤有机碳含量、含水量、毛管孔隙度和>5 mm 水稳性团聚体与土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ )。结合主成分方差贡献率与影响因子负荷量绝对值大小,经过分析影响入渗的主要因子是有机碳、含水量、毛管孔隙度、>5 mm 水稳性大团聚体。综合分析表明:若尔盖湿地泥炭土于土壤侵蚀的防治具有一定的积极效应。

**关键词:**若尔盖湿地; 土壤入渗; 影响因素

**中图分类号:**S152.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)03-0179-06

## Characteristic and Influencing Factors of Soil Infiltration in Zoige Wetland

ZHENG Kaili<sup>1</sup>, DENG Dongzhou<sup>2</sup>

(1. Sichuan Water Conservancy Vocational College, Chengdu 611231, China; 2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Four typical soil samples (peat, swamp, meadow, sands) were used to study the characteristic and influencing factors of soil infiltration in Zoige wetland. The results showed that: (1) Soil organic carbon, water content, capillary porosity, 1~0.05 mm particle size, water stable aggregates of >5 mm, >2 mm and >0.25 mm decreased with the increasing of soil depth, while soil bulk density, non-capillary porosity showed the opposite change trend; (2) there was a significant difference of soil infiltration among these soil types, and the stable infiltration time (130 min) was longer in peat and stable infiltration time (80 min) was short in sands; (3) the parameters of soil infiltration decreased in the order: peat > swamp > meadow > sands, and decreased with the increase of soil depth; (4) the three formulas could well simulate the infiltration process of rainfall into soil, and precision values of the researched soil type simulated by Kostikov infiltration model was the highest; (5) among all soil types, ability of soil infiltration was positively correlated with soil organic carbon, water content, capillary porosity and >5 mm water stable aggregate, which were the main influencing factors on soil infiltration in Zoige wetland. In total, the peat soil had a positive effect on the prevention of soil erosion.

**Keywords:** Zoige Wetland; soil infiltration; influencing factors

土壤是连接生物圈、大气圈、岩石圈最重要的过渡带,是人类、动植物、微生物等赖以生存的生境之一,是人类活动进行的直接场所,研究土壤的水分入渗特性是人类了解以及积极开展土壤侵蚀防治的有效前提<sup>[1-3]</sup>。土壤入渗是四水(降水、地面水、土壤水和地下水)相互流通、转化、运行的重要环节<sup>[4-6]</sup>。土壤的入渗特性受多方面因素的影响,蔡焕杰等<sup>[7]</sup>利用 WinSRFR 4.1 软件与拟合度检验相结合的方法对考斯加科夫土壤入渗模型参数值进行模拟,表明土壤随体积质量的增加,团粒结构逐渐瓦解、孔隙度和入渗率随之降低。也有研究认为入渗性能主要由土壤机械组成的比例、团聚体含量和初始含水率等多种不定因素决定<sup>[8-9]</sup>。一般来说植物截流、雨量蒸发和填注量不及下渗量,高效的入渗有利于降低土壤产流、减缓径流冲刷土表、增加蓄水量,还可避免超渗产流的产生<sup>[10]</sup>。研究土壤水分入渗特性是探讨流域产流机制的基础和前提,同时也为改善土壤生态建设、开发土壤内部潜力、发挥土壤水文效应提供数据支持<sup>[11-13]</sup>。

土壤侵蚀可破坏耕地,制约着农业经济的发展,是对生态环境构成威胁的全球性灾害之一,而土壤入渗是分析和表征土壤侵蚀过程的重要参数,也是土壤水分循环的重要环节<sup>[14-16]</sup>。土壤水分入渗规律是探讨地表径流产生的前提和基础,对明确地表径流的调节机制及土壤侵蚀防治具有十分重要的意义<sup>[17]</sup>。目前,国内外学者就土壤入渗问题虽进行了较多研究,但多集中于黄土高原区、干热河谷区、川中丘陵区及三峡库区等,对若尔盖湿地的研究甚少<sup>[18]</sup>。若尔盖湿地地处长江上游,是世界上面积最大的高原沼泽湿地,被誉为“高原之肾”、“黄河蓄水池”,对于保护生物多样性、维持区域乃至全球碳循环平衡以及保障地区社会经济可持续发展具有重要作用<sup>[19]</sup>。近年来,该区生态系统脆弱,土壤侵蚀严重,水土流失降低了当地土地生产力,造成土壤质量退化,严重制约了区域资源、经济和社会的可持续发展<sup>[20]</sup>。诸多研究者发现土壤入渗性能与土壤容重、土壤团聚体、有机碳、孔隙度等理化性质密切相关,土壤类型理化性质差异很大,从而造成其土壤入渗性能的差异也显著<sup>[20-21]</sup>。为了探索不同土壤类型入渗性能及其驱动因素,通过回归分析得出土壤理化性质各项指标与土壤入渗性能之间的权重关系。以期若尔盖湿地农业可持续发展、土壤入渗以及土壤理化性质与之相关性等研究提供资料参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于青藏高原东缘若尔盖高原,海拔

3 400~3 900 m,地理位置 101°36′—103°30′E,32°20′—34°00′N,隶属于四川省阿坝州若尔盖县。地貌类型为平坦的高原地貌,以低山、丘陵、闭流宽谷地和湖群洼地为主。主要气候特点为长冬无夏,降水多、湿度大,属于高原寒温带湿润气候,年平均降水量为 660~750 mm,5—10 月为雨季,降水占全年的 90%。年平均气温为 1.2℃,7—8 月份平均气温为 10.9℃。

### 1.2 样品采集

于 2017 年 9 月在若尔盖地区选择 4 种典型土壤(泥炭土、沼泽土、草甸土、风沙土)采集土样。每种土壤类型设 3 个重复采样区,运用五点混合法用土钻从地表向下取 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 共 3 个深度采集土样。用环刀取原状土,室内用环刀法分别测定体积质量、毛管孔隙度和土壤入渗速率。孔隙度和非毛管孔隙度由计算得到。土壤风干研磨过 0.25 mm 筛,用丘林法测定土壤有机碳;过 1 mm 筛,用比重计法分析颗粒组成。取原状土壤用萨维诺夫法分析 >5 mm、>2 mm、>0.25 mm 风干和水稳性团聚体含量。

### 1.3 入渗速率、毛管孔隙度的测定及计算

本试验过程中采用双环入渗测定,该方法简单实用,要求两环的高度均达到 35 cm,内环、外环的直径分别为 30,50 cm,土层深度达到 25 cm;在进行记录之前要求在内侧作标记,并结合秒表,加水采取人工控制,但要求水深至少在 5 cm 以上;入渗后进行人工加水需间隔一定时间,同时做好数据的记录,本试验中各个测定区均为平缓地带,无明显的坡度,待入渗稳定后方结束试验;进行原状土取样后,在环刀有孔的一端垫上滤纸,然后置于盛水托盘,要求水深在 2~3 cm,土样膨胀后刮去膨胀出环刀的多余土壤,称重后取土 5 g,测定其含水率,并对土重进行换算,进而对孔隙度进行计算<sup>[22]</sup>。

试验要求环刀达到 200 cm<sup>3</sup>,高度为 5.1 cm,将取出的原状土在水深 4.9 cm 的水盘内浸泡 24 h,待其取出,将一空环刀套其上部,将结合部密封,然后将之固氮在漏斗架,并在下方放置烧杯,空环刀内注水,要求水层达到 4.9 cm,计时从第一滴水落下开始,每及时更换烧杯,做好记录,最后计算渗水量,在试验过程中要求对前 3 min 的入渗速率进行计算,并分别记录 30 min、1 h 的入渗水量,计算出稳定入渗率,为便于试验对比,将 10℃下稳定入渗系数作为该稳定入渗速率,即:

$$K_{10} = K_t / (0.7 + 0.03t)$$

式中:  $K_t$  代表在  $t$ ℃下的入渗速率(mm/min);  $t$  表示水温。

采取模型进行参数模拟<sup>[23]</sup>。

考斯加科夫公式:入渗速率  $y=at^{-b}$   
式中: $y$  用 mm/min 表示; $t$  表示入渗时间,以 min 计; $a, b$  代表参数。  
菲利普公式: $y=A+0.5St^{-1/2}$   
式中: $S$  代表吸湿率; $A$  代表稳定入渗率;  
霍顿公式: $y=A+(A-B)e^{-kt}$   
式中:常数用  $k$  表示;

1.4 数据处理

Excel 2003 进行数据处理与分析,SPSS 18.0 做回归分析和统计检验,在  $p<0.05$  和  $p<0.01$  水平检验相关系数的显著性。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

本研究测得各土壤层的有机碳、容重、孔隙度、颗粒组成和水稳性大团聚体含量结果详见表 1。从表 1 可知,不同土壤类型土壤含水量变化范围在 6.2%~15.9%,其中以风沙土最小,泥炭土最大,其大小基本

表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,各土壤类型土壤含水量随土层深度的增加呈逐渐减低趋势;不同土壤类型土壤有机碳变化范围在 4.1~19.8 g/kg,其大小基本表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,各土壤类型土壤有机碳随土层深度的增加呈逐渐减低趋势;土壤容重变化范围在 0.98~1.38 g/cm<sup>3</sup>,其大小基本表现为泥炭土<沼泽土<草甸土<风沙土,各土壤类型容重随土层深度的增加呈逐渐增加趋势。毛管孔隙度基本表现为泥炭土<沼泽土<草甸土<风沙土,各土壤类型毛管孔隙度随土层深度的增加呈逐渐增加趋势。非毛管孔隙度随土层深度的增加呈逐渐降低趋势。1~0.05 mm 颗粒组成基本表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,随着土层深度的增加呈逐渐降低趋势,<0.01 mm 颗粒组成基本表现为泥炭土<沼泽土<草甸土<风沙土,随着土层深度的增加呈逐渐增加趋势。>5 mm,>2 mm,>0.25 mm 水稳性团聚体基本表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,随着土层深度的增加呈逐渐降低趋势。

表 1 不同土壤类型理化性质

土壤类型	土层深度/cm	有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )	含水量/%	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	颗粒组成/%			水稳性团聚体/%		
							1~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.001 mm	>5 mm	>2 mm	>0.25 mm
泥炭土	0—20	19.8	15.9	1.23	38.26	23.16	53.26	15.36	31.38	69.56	79.58	93.56
	20—40	16.5	15.3	1.25	39.16	22.15	51.29	19.58	29.13	68.23	72.36	91.78
	40—60	12.3	14.3	1.34	43.02	21.07	50.48	21.05	28.47	61.04	69.87	85.63
沼泽土	0—20	17.2	15.2	1.26	37.16	21.89	52.56	16.23	31.21	52.15	65.74	88.75
	20—40	15.4	15.1	1.34	38.97	20.16	53.41	15.48	31.11	50.78	62.13	87.36
	40—60	11.7	14.3	1.38	40.13	19.78	50.78	20.17	29.05	43.26	56.78	81.04
草甸土	0—20	16.3	12.7	0.98	35.18	20.46	52.16	19.78	28.06	35.89	51.36	68.79
	20—40	12.4	12.3	1.02	36.77	18.26	50.19	23.46	26.35	32.04	48.75	65.23
	40—60	9.8	11.4	1.34	39.74	17.35	48.77	26.79	24.44	28.79	43.25	56.47
风沙土	0—20	8.6	10.3	1.32	32.15	18.26	46.23	23.15	30.62	15.32	24.13	45.62
	20—40	5.3	8.9	1.35	34.16	15.34	45.13	25.89	28.98	14.02	22.01	43.02
	40—60	4.1	6.2	1.37	35.78	14.79	42.06	29.77	28.17	8.97	15.89	38.79

2.2 土壤入渗特征与过程

由图 1 可知,不同土壤类型土壤入渗过程存在一定差异,入渗速率在开始阶段陡降,随着时间的推移,下降幅度逐渐减小,最后达到稳渗。其中泥炭土达稳定入渗的时间最长,达 130 min;风沙土达到稳渗的时间最短,仅为 80 min;沼泽土和草甸土达到稳渗的时间大概为 110 min。可见,4 种土壤类型中,泥炭土能使土壤渗透性能得到明显改善,延缓地表发生径流的时间,降低土壤侵蚀发生的可能性;而相比之下,风沙土则将加速地表径流的形成,造成大量表层土壤被冲刷;而相对于风沙土来说,泥炭土于土壤侵蚀的防治具有一定的积极效应。

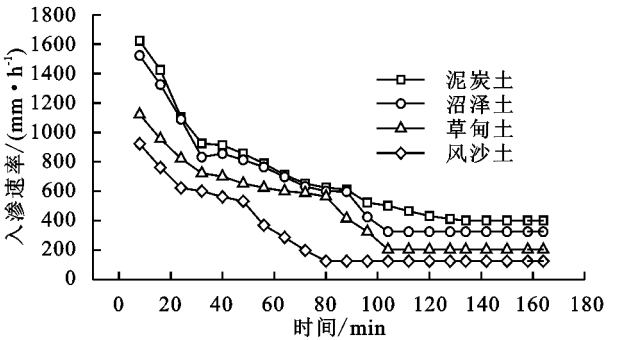


图 1 土壤入渗特征与过程

由表 2 可知,土壤入渗特征为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,不同土层土壤初始入渗率、稳定入渗率、平均渗透率和渗透总量均随着土层深度的增加

而降低。对于 0—20 cm 土层,泥炭土的初始入渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.15,1.78,3.11 倍,稳渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.91,2.47,4.99 倍,平均渗率和渗透总量分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.10,2.05,3.32 倍和 1.29,2.77,4.31 倍。对于 20—40 cm 土层,泥炭土的初始入渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.00,1.67,3.54 倍,稳渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.96,2.27,4.99 倍,平均渗率和渗透总量分别是沼泽土、

草甸土、风沙土的 1.12,2.22,3.35 倍和 1.19,2.98,4.09 倍。对于 40—60 cm 土层,泥炭土的初始入渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.11,1.72,3.94 倍,稳渗率分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.80,2.13,5.00 倍,平均渗率和渗透总量分别是沼泽土、草甸土、风沙土的 1.06,2.09,3.98 倍和 1.21,2.96,4.41 倍。由此可见,不同土壤类型入渗特征差异较为明显,其中泥炭土的入渗特征最好,可以有效地延缓地表径流的产生,抑制土壤侵蚀,有利于水土保持。

表 2 土壤入渗指标

土壤类型	土层深度/cm	初始入渗率/(mm·h <sup>-1</sup> )	稳定入渗率/(mm·h <sup>-1</sup> )	平均渗透率/(mm·h <sup>-1</sup> )	渗透总量/mm
泥炭土	0—20	1523.3	298.6	723.3	1103.5
	20—40	1259.8	265.7	701.6	956.8
	40—60	1135.2	234.2	623.8	875.3
沼泽土	0—20	1325.7	156.3	658.9	856.3
	20—40	1254.0	135.6	625.4	803.4
	40—60	1023.4	129.8	589.7	723.6
草甸土	0—20	856.9	120.7	352.1	398.7
	20—40	756.2	116.8	315.7	321.4
	40—60	658.9	109.7	298.2	295.6
风沙土	0—20	489.3	59.8	217.9	256.4
	20—40	356.2	53.2	209.3	234.0
	40—60	287.9	46.8	156.8	198.7

2.3 土壤入渗模型拟合

通过表 3 不难发现,对于考斯加科夫公式拟合而言, $a$  值在 2.369 之上、4.569 之下,且以泥炭土系数最高, $a$  的主要影响因素在于土壤结构、容重等,这说明初始入渗率最高的是泥炭土,其次是沼泽土、草甸土,而风沙土的初始入渗率最低; $b$  值拟合分析得知,说明在时间降低的情况下,入渗速率降低最慢的是沼泽土,其次是泥炭土、草甸土,而风沙土则是入渗速率快速下降,即沼泽土>泥炭土>草甸土>风沙土,也就是说  $a$  与  $b$  的变化趋势相反。从菲利普拟合来看, $S$  代表土壤入渗能力,是一种吸水性的正向表征,通过数据分析得知,泥炭土的  $S$  值最大,其次是沼泽土、草甸土,而风沙土最小,说明土壤吸水率最大的是泥炭土;从考斯加科夫分析来看,拟合  $r$  较高,说明该模型具有较好的拟合性,通过分析发现,泥炭土而言,其随时间的变化而呈现较快入渗速率下降;该拟合下相关系数较高。上述分析可知,本试验中采用的 3 种公式都能较好地模拟出降雨向土壤中入渗的过程,但从相关系数  $r$  的大小而论,考斯加可夫公式拟合效果较菲利普入渗公式和霍顿公式好。

2.4 土壤入渗的影响因素

由表 4 可知,土壤有机碳含量与土壤渗透性能呈显

著正相关( $p<0.05$ ),并且相关系数绝对值大致表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,土壤含水量与泥炭土和沼泽土土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ ),与草甸土和风沙土累积入渗量相关性不显著( $p>0.05$ ),相关系数绝对值大致表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土;土壤容重与泥炭土和沼泽土土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ ),与草甸土和风沙土累积入渗量相关性不显著( $p>0.05$ ),相关系数绝对值大致表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土;毛管孔隙度与土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ ),相关系数绝对值大致表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土;非毛管孔隙度与土壤渗透性能呈负相关; $1\sim0.05$  mm 颗粒与土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ ), $>5$  mm 水稳性团聚体与土壤渗透性能呈显著正相关( $p<0.05$ ),其相关系数绝对值大致表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土。

2.5 主成分分析

主成分分析表明:前 3 个特征值 $>1$ 的成分累积贡献率达到 87.902%,满足主成分分析条件,故可以从前 3 个成分来表征对入渗性能的影响。从表 5—6 可以看出,第 1 主成分的方差贡献率最大达到了 55.856%,负荷量绝对值 $>0.9$  的影响因素为有机碳和 $>0.25$  mm 水稳性团聚体决定;代表第 2 主成分

的方差贡献率为 19.457%,由表 6 可知影响因素为有机碳和>0.25 mm 水稳性团聚体;第 3 主成分仅为 12.589%,影响因子为有机碳和毛管孔隙度。结合各成分方差贡献率与影响因子负荷量绝对值大小,经过分析影响入渗的 3 个主要因子是有机碳、含水量、毛管孔隙度、>5 mm 水稳性大团聚体。

表 3 土壤入渗模型拟合

土壤 类型	土层 深度/cm	考斯加科夫公式			菲利普公式			霍顿公式	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>r</i>	<i>k</i>	<i>r</i>
泥炭土	0—20	2.369	0.562	0.986	9.526	0.365	0.935	1.263	0.936
	20—40	3.026	0.365	0.965	6.235	0.247	0.926	0.985	0.953
	40—60	4.569	0.458	0.963	6.158	0.198	0.942	0.658	0.952
沼泽土	0—20	3.025	0.489	0.975	7.162	0.326	0.931	0.546	0.953
	20—40	3.269	0.462	0.956	7.021	0.257	0.924	0.756	0.941
	40—60	4.187	0.389	0.962	7.635	0.216	0.942	0.364	0.956
草甸土	0—20	4.062	0.268	0.981	6.874	0.302	0.956	0.389	0.971
	20—40	3.586	0.342	0.981	6.253	0.148	0.961	0.456	0.923
	40—60	2.564	0.325	0.956	6.104	0.236	0.943	0.358	0.944
风沙土	0—20	3.691	0.428	0.976	5.879	0.215	0.972	0.517	0.936
	20—40	3.251	0.469	0.963	6.841	0.198	0.942	0.532	0.961
	40—60	3.587	0.477	0.961	6.035	0.175	0.953	0.247	0.957

注:*a* 代表第一个单位时间内的入渗速率,*b* 代表为入渗速率随时间降低的快慢性;*S* 为土壤入渗能力大小;*A* 为稳定入渗速率;*k* 为入渗速率随时间变化快慢;*r* 为相关性程度。

表 4 土壤入渗性能与理化因子相关性

项目	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	含水量/ %	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	毛管 孔隙度/%	非毛管 孔隙度/%	颗粒组成/%			水稳性团聚体/%		
						1~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.001 mm	>5 mm	>2 mm	>0.25 mm
初始入渗率	0.956**	0.756*	-0.923**	0.856**	-0.569	0.845**	-0.323	-0.365	0.865**	0.625*	0.235
泥炭土 稳定入渗率	0.952**	0.625*	-0.856**	0.862**	-0.623*	0.869**	-0.325	-0.269	0.912**	0.169	0.534
累积入渗量	0.917**	0.613*	-0.756*	0.752*	-0.423	0.756*	-0.621*	-0.541	0.814**	0.258	0.528
初始入渗率	0.942**	0.689*	-0.723*	0.912**	-0.248	0.723*	-0.256	-0.269	0.869**	0.326	0.521
沼泽土 稳定入渗率	0.952**	0.652*	-0.689*	0.851**	-0.623*	0.619*	-0.258	-0.254	0.823**	0.324	0.452
累积入渗量	0.852**	0.634*	-0.853**	0.862**	-0.258	0.742*	-0.354	-0.214	0.910**	0.158	0.355
初始入渗率	0.846**	0.687*	-0.861**	0.823**	-0.321	0.639*	-0.269	-0.362	0.863**	0.612*	0.347
草甸土 稳定入渗率	0.723*	0.623*	-0.654*	0.721*	-0.259	0.687*	-0.451	-0.358	0.618*	0.257	0.258
累积入渗量	0.615*	0.548	-0.532	0.702*	-0.346	0.703*	-0.236	-0.347	0.756*	0.321	0.054
初始入渗率	0.721*	0.635*	-0.623*	0.756*	-0.528	0.658*	-0.247	-0.289	0.789*	0.254	0.321
风沙土 稳定入渗率	0.655*	0.601*	-0.601*	0.714*	-0.647*	0.637*	-0.532	-0.341	0.813**	0.263	0.352
累积入渗量	0.653*	0.524	-0.589	0.703*	-0.523	0.723*	-0.518	-0.259	0.762*	0.357	0.098

注:\*\*表示在 0.01 水平差异显著,\*表示在 0.05 水平差异显著(双尾)。

表 5 主成分方差贡献率

成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
F1	5.981	55.856	55.856
F2	2.036	19.457	75.313
F3	1.454	12.589	87.902

3 讨论与结论

在本研究中,土壤有机碳、含水量、毛管孔隙度、1~0.05 mm 颗粒组成>5 mm、>2 mm 和>0.25 mm 水稳性团聚体均表现为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,并且随着土层深度的增加呈逐渐降低趋

势,而土壤容重、非毛管孔隙度和<0.01 mm 颗粒组成基本表现为泥炭土<沼泽土<草甸土<风沙土,随着土层深度的增加呈逐渐增加趋势。土壤渗透性能直接关系到地表径流的产生、土壤侵蚀和化学物质运移等过程,是评价土壤抗侵蚀能力的重要指标之一<sup>[24]</sup>。本研究中,不同土壤类型土壤入渗过程存在一定差异,入渗速率在开始阶段陡降,随着时间的推移,下降幅度逐渐减小,最后达到稳渗。其中泥炭土达稳定入渗的时间最长,达 130 min;风沙土达到稳渗的时间最短,仅为 80 min;沼泽土和草甸土达到稳

渗的时间大概为 110 min。由此可见,4 种土壤类型中,泥炭土能使土壤渗透性能得到明显改善,延缓地表发生径流的时间,降低土壤侵蚀发生的可能性;而相比之下,风沙土则将加速地表径流的形成,造成大量表层土壤被冲刷;而相对于风沙土来说,泥炭土于土壤侵蚀的防治具有一定的积极效应。

表 6 主成分载荷矩阵

项目	F1	F2	F3
有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.912	-0.362	0.904
含水量/%	0.897	0.875	0.713
容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	-0.856	0.326	0.156
毛管孔隙度/%	0.623	0.165	0.894
非毛管孔隙度/%	0.147	0.258	0.203
1~0.05 mm	0.025	-0.365	-0.056
0.05~0.01 mm	0.621	0.214	0.214
0.01~0.001 mm	0.354	0.378	0.269
>5 mm	0.903	0.904	0.331
>2 mm	0.589	0.635	-0.036
>0.25 mm	0.264	0.536	0.254

土壤入渗特征为泥炭土>沼泽土>草甸土>风沙土,不同土层土壤初始入渗率、稳定入渗率、平均渗透率和渗透总量均随着土层深度的增加而降低,不同土壤类型入渗特征差异较为明显,其中泥炭土的入渗特征最好,可以有效地延缓地表径流的产生,抑制土壤侵蚀,有利于水土保持。本试验中采用的 3 种公式都能较好地模拟出降雨向土壤中入渗的过程,但从相关系数 r 的大小而论,考斯加可夫公式拟合效果较菲利普入渗公式和霍顿公式好,其相关系数都高于 0.9;泥炭土稳定渗率及入渗量都为最高,风沙土最低。土壤入参与土壤状况相关,在本研究中土壤的入渗率与土壤容重、孔隙度及有机碳含量显著相关。结合主成分方差贡献率与影响因子负荷量绝对值大小,经过分析影响入渗的 3 个主要因子是有机碳、含水量、毛管孔隙度、>5 mm 水稳性大团聚体。以往研究表明,土壤中砂粒含量越多,黏粒含量越低,越有利于水分的渗透<sup>[26]</sup>。土壤有机碳含量与土壤渗透性能呈正相关,且均达到显著水平。土壤有机碳在矿化过程中能释放大量营养物质,对土壤水、气、热等各种肥力因素起着重要的调节作用,对土壤结构形成也有很大影响<sup>[27-28]</sup>。有研究表明,有机碳含量较多的土壤,土壤团聚体多,孔隙率大,连通性好,对其中运动流体的阻力小,因而土壤水分流通量大,相应的土壤入渗能力增强。因此,有机碳通过促进团聚体的形成,间接影响土壤渗透性能<sup>[29]</sup>。土壤容重与土壤渗透性能呈负相关。土壤容重越大,土壤越紧实,孔性越差,渗透性能越弱;容重越小,土壤越松散,孔性越好,渗透性能

越强<sup>[29-30]</sup>。非毛管孔隙度与土壤渗透性能呈正相关,且均达到显著水平;而毛管孔隙度与土壤渗透性能呈负相关,总孔隙度与土壤渗透性能呈正相关,但均未达到显著水平。综合分析表明:若尔盖湿地泥炭土于土壤侵蚀的防治具有一定的积极效应。

参考文献:

[1] 吉恒莹,邵明安,贾小旭.水质对层状土壤入渗过程的影响[J].农业机械学报,2016,47(7):183-188.

[2] 岳海晶,樊贵盛.备耕头水地土壤入渗参数的线性预报模型[J].中国农村水利水电,2016(2):21-26.

[3] 岳海晶,樊贵盛.土壤入渗模型参数的多元线性预测模型精度的对比分析[J].灌溉排水学报,2016,35(10):73-77.

[4] 莫斌,陈晓燕,刘涛,等.紫色土丘陵区土壤入渗及其测定方法研究[J].水土保持学报,2016,30(2):116-121.

[5] 范严伟,黄宁,马孝义,等.应用 HYDRUS-1 D 模拟砂质夹层土壤入渗特性[J].土壤,2016,48(1):193-200.

[6] 莫斌,陈晓燕,杨以翠,等.不同土地利用类型土壤入渗性能及其影响因素研究[J].水土保持研究,2016,23(1):13-17.

[7] 蔡焕杰,徐家屯,王健,等.基于 WinSRFR 模拟灌溉农田土壤入渗参数年变化规律[J].农业工程学报,2016,32(2):92-98.

[8] 吕刚,王婷,王韞策,等.辽西低山丘陵区坡地砾石含量及粒径对土壤入渗性能的影响[J].水土保持学报,2017,31(4):86-92.

[9] 聂卫波,张凡,马孝义,等.基于土壤入渗变异性的畦灌单宽流量优化[J].农业工程学报,2017,33(16):119-126.

[10] 黄俊,金平伟,李敏,等.径流小区尺度土壤入渗率影响因素子与估算模型研究[J].农业机械学报,2016,47(8):171-178.

[11] 王平,胡笑涛,王文娥.不同湿润比下滴灌土壤入渗特性模拟试验研究[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):6-11.

[12] 赵文刚,邢旭光,马孝义.基于 EMD 方法的土壤入渗空间异质性及其影响因素研究[J].灌溉排水学报,2016,35(3):61-67.

[13] 李超,周正朝,朱冰冰,等.黄土丘陵区不同撂荒年限土壤入渗及抗冲性研究[J].水土保持学报,2017,31(2):61-66.

[14] 高婵婵,余凯,赵传燕,等.黄土丘陵区安家沟流域土壤入渗特征空间变异的研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(4):90-95.

[15] 陈楚楚,黄新会,刘芝芹,等.滇西北高原湿地不同植被类型下的土壤入渗特性及其影响因素[J].水土保持通报,2016,36(2):82-87.

[16] 吕刚,傅昕阳,李叶鑫,等.海州露天煤矿排土场复垦区不同土地利用类型土壤入渗特征[J].水土保持学报,2017,31(3):123-128.

- [10] Cancellieri L, Mancini L D, Sperandii M G, et al. In and out: Effects of shoot-vs. rooted-presence sampling methods on plant diversity measures in mountain grasslands[J]. *Ecological Indicators*, 2017,1(72):315-321.
- [11] Deng Y, Wang S, Bai X, et al. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area[J]. *Scientific Reports*, 2018,8(1):1-12.
- [12] 魏媛,吴长勇.喀斯特贫困山区土地利用碳排放效应及风险研究:以贵州省为例[J]. *生态经济*, 2018(3):31-36.
- [13] 杜光华,兰安军,秦志佳,等.喀斯特山区县域生态红线划定方法研究:以贵州省普定县为例[J]. *环保科技*, 2017,23(1):54-60.
- [14] Wang Y, Jin C, Pan W, et al. The Early Pleistocene Gigantopithecus-Sinomastodon fauna from Juyuan karst cave in Boyue Mountain, Guangxi, South China[J]. *Quaternary International*, 2017,434:4-16.
- [15] 吴金水.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:科学出版社,2000.
- [17] Georgiou K, Abramoff R Z, Harte J, et al. Microbial community-level regulation explains soil carbon responses to long-term litter manipulations[J]. *Nature Communications*, 2017,8(1):1-10.
- [18] Erlandson S, Wei X, Savage J, et al. Soil abiotic variables are more important than Salicaceae phylogeny or habitat specialization in determining soil microbial community structure[J]. *Molecular Ecology*, 2018,27(8):2007-2024.
- [19] Peng M, Shah S S, Wang Q, et al. Effect of the leaf litter of transgenic populus simonii P. nigra on the soil microbial community and horizontal transfer possibility of the foreign gene[J]. *Molecular Microbiology Research*, 2017,7:1308-1312.
- [20] Khelifa R, Paquette A, Messier C, et al. Do temperate tree species diversity and identity influence soil microbial community function and composition? [J]. *Ecology and Evolution*, 2017,7(19):7965-7974.
- [21] Stewart C E, Roosendaal D, Denef K, et al. Seasonal switchgrass ecotype contributions to soil organic carbon, deep soil microbial community composition and rhizodeposit uptake during an extreme drought[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017,112:191-203.
- [22] Liu X, Zhang B, Zhao W, et al. Comparative effects of sulfuric and nitric acid rain on litter decomposition and soil microbial community in subtropical plantation of Yangtze River Delta region[J]. *Science of the Total Environment*, 2017,601:669-678.
- [23] Gui H, Hyde K, Xu J, et al. Arbuscular mycorrhiza enhance the rate of litter decomposition while inhibiting soil microbial community development[J]. *Scientific Reports*, 2017,7:42184.
- [24] Hu Z, Xu C, McDowell N G, et al. Linking microbial community composition to C loss rates during wood decomposition[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017,104:108-116.

(上接第 184 页)

- [17] 李坤,姚文艺,肖培青,等.植被对土壤入渗和地表产流过程的影响研究进展[J]. *中国水土保持*, 2017(3):27-30.
- [18] 李坤,姚文艺,肖培青,等.黄丘区自然草地对坡面土壤入渗的影响机制[J]. *人民黄河*, 2017,39(6):82-85.
- [19] 刘小媛,高佩玲,张晴雯,等.微咸水矿化度对重度盐碱土壤入渗特征的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2018,36(1):102-107.
- [20] 陈文媛,张少妮,华瑞,等.黄土丘陵区林草恢复进程中土壤入渗特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 2017,39(1):62-69.
- [21] 白一茹,赵云鹏,王幼奇,等.宁夏砂田不同砾石覆盖厚度土壤入渗过程及模型分析[J]. *水土保持学报*, 2017,31(4):81-85.
- [22] 程诗念,樊贵盛.盐碱荒地土壤入渗参数的多元非线性预报模型[J]. *人民黄河*, 2017,39(7):144-148.
- [23] 于瀑,樊贵盛.不同土壤入渗模型参数多元非线性预测模型的精度对比分析[J]. *中国农村水利水电*, 2016(10):63-68.
- [24] 陈三雄,沈义.黄浦江源头区主要植被类型土壤入渗特征及模拟分析[J]. *水土保持研究*, 2016,23(6):59-63.
- [25] 宋爱云,董林水,刘世荣,等.不同亚高山草甸群落类型的土壤入渗特征及影响因素[J]. *水土保持研究*, 2018,25(3):41-45.
- [26] 杨思维,张德罡,牛钰杰,等.短期放牧对高寒草甸表层土壤入渗和水分保持能力的影响[J]. *水土保持学报*, 2016,30(4):96-101.
- [27] 王冬梅,陈胜利.影响土壤入渗的因素分析[J]. *水科学与工程技术*, 2016(1):64-66.
- [28] 岳海晶.土壤入渗模型参数的线性预报模型研究[D].太原:太原理工大学,2016.
- [29] 黄恒.基于农田尺度土壤入渗变异性的畦灌灌水质量评价模型[D].西安:西安理工大学,2017.
- [30] 苏雯.基于 HYDRUS 的干旱区非饱和土壤入渗性能及水盐运移模拟研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2017.