

陕西省子洲县黄土洼不同植被表层黄土入渗特性

赵青阳, 岳大鹏, 赵景波, 胡倩, 马爱华

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 陕西 陕西 710119)

摘要: [目的] 揭示陕西省子洲县黄土洼不同植被表层黄土的水分涵养功能, 为该区水土保持措施的科学配置提供科学依据。[方法] 采用野外双环入渗试验和室内土壤粒度分析相结合的方法, 研究黄土洼不同植被土壤入渗特性及其影响因素。[结果] 研究区内平坦草地、斜坡草地、枣树林地和杏树林地的稳定入渗率分别为 1.91, 1.54, 1.47 和 1.56 mm/min, 淤积玉米地从上游的 A 样地(淤积玉米样地)到下游的 F 样地(淤积玉米样地)稳定入渗率总体变小, 变化在 0.69~1.1 mm/min 之间, 草地和林地比淤积玉米地的入渗率大。利用入渗经验公式进行拟合, 拟合效果最好的为考斯加可夫模型, 霍顿模型和经验通用公式拟合效果一般。[结论] 研究区黄土层上不同植被表层土壤入渗率均高于淤积玉米样地, 而在淤积玉米地内从上游到下游入渗率也在逐渐变小。

关键词: 黄土洼; 淤积地; 土壤入渗率; 粒度特征; 孔隙度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)06-0090-08

中图分类号: S152.7

文献参数: 赵青阳, 岳大鹏, 赵景波, 等. 陕西省子洲县黄土洼不同植被表层黄土入渗特性[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 90-97. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.013; Zhao Qingyang, Yue Dapeng, Zhao Jingbo, et al. Infiltration characteristics of soil under different vegetation in Huangtuwa, Zizhou County, Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 90-97.

Infiltration Characteristics of Soil Under Different Vegetation in Huangtuwa, Zizhou County, Shaanxi Province

Zhao Qingyang, Yue Dapeng, Zhao Jingbo, Hu Qian, Ma Aihua

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: [Objective] The water conservation function of loess in different vegetation in the Loess depression of Zizhou County, Shaanxi Province was investigated in order to provide scientific basis for the allocation of soil and water conservation measure in this area. [Methods] This paper systematically studied the soil infiltration characteristics and its influencing factors under different vegetation of Loess Plateau, by using the field double-ring infiltration experiment and indoor soil particle size analysis. [Results] The stable infiltration rates of flat grassland, slope grassland, jujube forest land and apricot forest land in the study area were 1.91, 1.54, 1.47 and 1.56 mm/min, respectively. The stable infiltration rate of the silted corn plot from the upstream(sample plot A) to the downstream(sample plot F) plot was generally getting smaller, with a variation between 0.69 and 1.1 mm/min. Grassland and woodland had greater infiltration rates than silt corn plot. Fitting by the infiltration experience formula, the best fitting effect was the Kostiakov model, and the fitting effect of Horton model and the empirical general formula was general. [Conclusion] The soil infiltration rate of loess layer under different vegetation in the area is higher than that of the silted corn field, and the infiltration rate from the upstream to the downstream in the corn field is also gradually decreasing.

Keywords: Huangtuwa; underlying surface; soil infiltration; granularity characteristics

黄土高原是我国水土流失最为严重的地区之一, 在多年实施“退耕还林(草)”工程后, 现阶段水土流失已得到控制。水土流失会导致土壤肥力下降以及农

田遭到破坏、气候条件变差等严重后果。黄土洼位于陕西省子洲县南部, 土壤类型有黄土和部分淤积地, 具有入渗速率较快、保水能力差等特性^[1]。土壤入渗

收稿日期: 2019-03-21

修回日期: 2019-05-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“陕北黄土高原典型小流域近 500 年来侵蚀产沙量变化研究: 以庞家沟为例”(41071012)

第一作者: 赵青阳(1995—), 女(汉族), 宁夏回族自治区银川市人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源评价与规划研究。E-mail: 645797828@qq.com.

通讯作者: 岳大鹏(1964—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 博士生导师, 主要从事自然地理、土壤侵蚀和土地资源与环境研究。E-mail: yuedp@snnu.edu.cn.

是指降水或灌溉水在进入土壤的过程中向下流动形成土壤水的过程,是大气降水、土壤水、地表水和地下水相互转化的中心环节^[2]。土壤入渗能力的变化规律一般可分为水平方向与垂直方向^[3]。有学者^[4]研究发现,土壤入渗性能与水土流失密切相关,土壤入渗率越高,地表径流量越小,发生水土流失的强度就越小。学者们^[5-8]对黄土高原区土壤入渗的研究主要集中在坡耕地,取得了许多研究成果。子洲黄土洼有着黄土高原已知淤积年代最久远的全冲全淤型天然淤积地,将淤积地与其他不同植被风成黄土上的表层土壤入渗率进行横向对比分析,用来研究黄土洼地区不同土壤入渗速率的特点,对于淤积土和风成黄土上的土壤入渗率差异及其对水土流失的影响有着重要的意义。半干旱黄土地区土壤渗透性能反映了土壤的重要水文过程,据此可研究一定降水条件下土壤的径流量、流速、入渗量等,这也是进行水土保持措施设置的重要参考因素^[9]。

1 研究区概况

黄土洼位于陕西省榆林市子洲县南部裴家湾镇(37°19'N,109°59'E),向北距离子洲县 50 km,向东距离绥德县 22.5 km,地处无定河一级支流淮宁河中游南岸的庞家沟流域,是淮宁河与清涧川支流秀延河的分水岭,海拔为 1 058~1 274 km。坝内流域主沟道长 4.21 km,呈南北走向,在主沟道两侧形成了 8 条支流,沟底形成的天然聚淤海拔为 1 053 km 左右。大约距今 440 a,黄土洼沟谷南侧九牛山山体滑塌堵塞了沟谷,经过漫长的泥沙淤积形成了全冲全淤型天然聚淤^[10]。黄土洼处于中温带与暖温带之间的半干旱区域,属大陆性季风气候,年平均降水 428.1 mm,夏季降水多,冬季降水少^[11]。黄土洼属于黄土丘陵沟壑区第 I 副区,是典型的黄土高原丘陵地貌,以草本植被为主,也有部分木本植物。由于黄土洼降水、地形、土质等各方面的综合影响,水灾、旱灾和霜冻灾害在该区域容易发生。

2 研究方法

2.1 野外双环入渗试验方法

本文研究土壤入渗试验所用方法为双环入渗法^[12]。选取比较平整的地段,避开土壤裂隙、孔洞等影响因素。将双环嵌套放置在平坦面上,内外环的直径分别为 30 和 50 cm,高度都为 15 cm,用橡胶锤将双环均匀缓慢地打入地下 5 cm 深,尽量保持双环两侧的土壤结构不受破坏,并且保证双环底端与土壤的密封,以免环中的水流出环外。此外需在环内铺垫一层碎石,避免在加水的过程中水的冲击力对土壤产生

破坏。做好准备工作后,向双环内同时开始加水至双环同时到 5 cm 高度时开始用秒表计时(用两只秒表同时计时以防出现失误),并将 5 cm 作为之后每次试验的标准高度。在水分不停下渗的同时,需时刻关注标准刻度线并保持加水,使得液面始终保持在 5 cm,当加入 500 ml 水后记录所需时间。反复进行相同操作,在进行多组试验后,水的入渗开始减慢并逐渐趋于稳定,当最后连续 3 次试验加入 500 ml 水的入渗时间保持基本相同时,说明水的入渗速率已经稳定,即可结束该点的试验。每个样地重复 3 次。

入渗速率的计算公式为:

$$V = \frac{10Q_n}{ST_n}$$

式中: V ——某一时刻土壤入渗率 (mm/min); Q_n ——第 n 次测定时间内加水量 (ml); S ——内环的横截面积 (cm²); T_n ——第 n 次测定时间间隔 (min)^[13]。

将前 10 min 的入渗速度作为土壤的初始入渗率,初始入渗率则可以用最初入渗时段内入渗量与 10 min 之比得出。稳定前的入渗率是速度达到稳定前瞬间时刻的入渗速率,视具体情况而定。稳定入渗率为单位时间内入渗量趋于稳定阶段的入渗速率。

2.2 入渗试验点选择

在研究区所有样地中,只有斜坡草地属于坡度大约为 15°的坡面土地,其他样地均为平坦土地。在枣树林地、杏树林地、平坦草地及斜坡草地各选取 3 个试验点,在淤积玉米地内均匀选取 6 个试验样地,从距离坝最远处开始,由上游至下游依次编号 A 样地至 F 样地,每个样地选 3 个试验点,共计 30 个人渗试验点。

2.3 土壤粒度测定方法

在枣树林地、杏树林地、平坦草地及斜坡草地各选取 1 个采样点,在淤积玉米地内均匀选取 6 个采样点,共计 10 个粒度采样点。在这 10 个样地分别用土钻采取 2 m 深的样品,采用 10 cm 间隔采样,共采集 200 个土样,将所采样品装袋密封并进行排序(表 1)。将土样带回实验室后,进行自然风干、之后去除有机质、去除次生碳酸盐类、中和,最后用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行粒度测定,最终结果取 3 次测试的平均值。

3 结果与分析

3.1 淤积地土壤的入渗率与入渗过程

土壤渗透性能是评价土壤物理特征的重要参考因素,渗透性能的好坏直接影响着地表产流和水分入渗的多少^[14-15]。在淤积玉米地的 18 个试验点中,选取重复性较好的 6 个点进行入渗速率的分析(图 1)。

可知,整体上研究区试验点的入渗速率都遵循着稳定的变化规律。在入渗初期阶段,土壤入渗速率很快,

随着时间的进行速率减慢,最后入渗速率达到稳定的阶段。

表 1 样地类型、分布及粒度编号

采样点	经纬度	海拔/m	粒度样品
斜坡草地	37.322 5°N,110.011 7°E	1 060.9	ZK061~ZK080
平坦草地	37.322 2°N,110.010 2°E	1 060.0	ZK001~ZK020
枣树林地	37.322 7°N,110.010 8°E	1 060.8	ZK021~ZK040
杏树林地	37.322 7°N,110.010 8°E	1 060.5	ZK041~ZK060
淤积玉米地 A	37.321 5°N,110.009 2°E	1 068.6	ZK081~ZK100
淤积玉米地 B	37.321 3°N,110.009 1°E	1 068.3	ZK101~ZK120
淤积玉米地 C	37.316 1°N,110.003 3°E	1 065.5	ZK121~ZK140
淤积玉米地 D	37.316 1°N,110.003 1°E	1 070.2	ZK141~ZK160
淤积玉米地 E	37.315 8°N,110.001 7°E	1 067.4	ZK161~ZK180
淤积玉米地 F	37.316 6°N,109.999 4°E	1 066.3	ZK181~ZK200

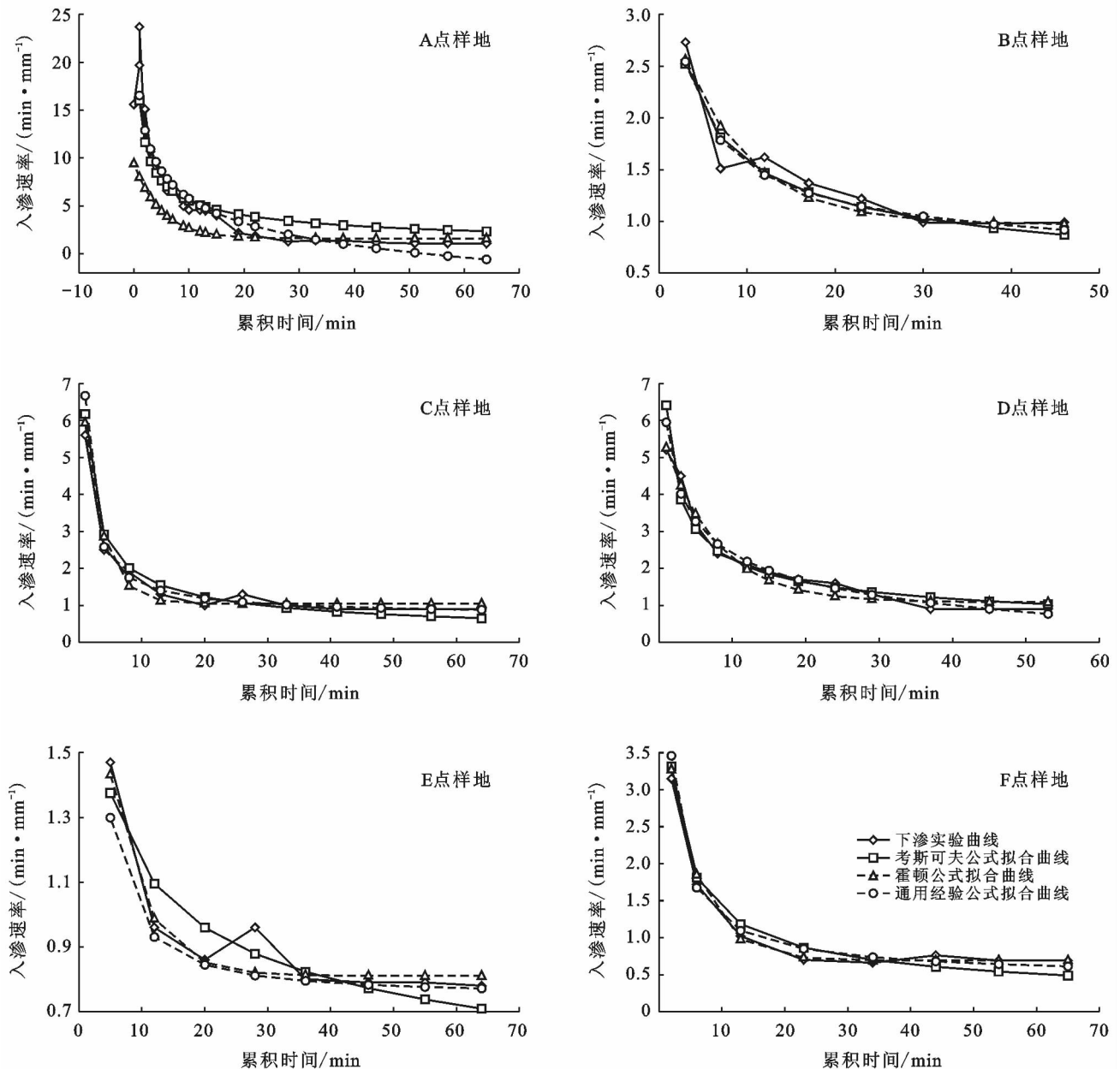


图 1 淤积玉米地土壤入渗速率与 3 种方程的拟合曲线

由图 1 可知,位于上游的 A 样地(4.97 mm/min)、B 样地(2.13 mm/min)、C 样地(2.48 mm/min)和 D 样地(3.19 mm/min)初始入渗率较高,位于下游的 E 样地(1.06 mm/min)、F 样地(1.7 mm/min)初始入渗率较低,从上游到下游的初渗率呈逐渐减小的趋势。当入渗进行一段时间后,土壤的入渗速率变得缓慢,之后入渗速率达到逐渐稳定的状态。A 样地到 F 样地稳定入渗速率分别为 1.10,0.99,0.90,0.90,0.78 和 0.69 mm/min,从上游到下游的稳渗率也呈减小的趋势。

3.2 风成黄土的土壤入渗率与入渗过程

在风成黄土的 12 个试验点中,选择重复性较好的 4 个试验点进行入渗速率的分析(图 2)可知,枣树

林地、杏树林地、平坦草地和斜坡草地的初渗率分别为 2.13,2.81,2.98 和 2.48 mm/min,这 4 个样地的初渗率差异明显。当入渗进行了一段时间后,土壤入渗速率的下降趋势变得较为缓慢,之后入渗速率达到逐渐稳定的状态。平坦草地(1.91 mm/min)的稳渗率最大,其次是杏树林地(1.56 mm/min)、斜坡草地(1.54 mm/min)和枣树林地(1.47 mm/min),这 3 个样地的稳渗率很接近。

3.3 淤积地土壤与黄土土壤入渗率的对比

对淤积地土壤与黄土土壤的入渗率进行分析对比(表 2)可知,淤积地的稳渗率在 0.69~1.10 mm/min 之间,黄土土壤的稳渗率在 1.54~1.91 mm/min 之间。黄土上的土壤的稳定入渗率明显大于淤积地土壤。

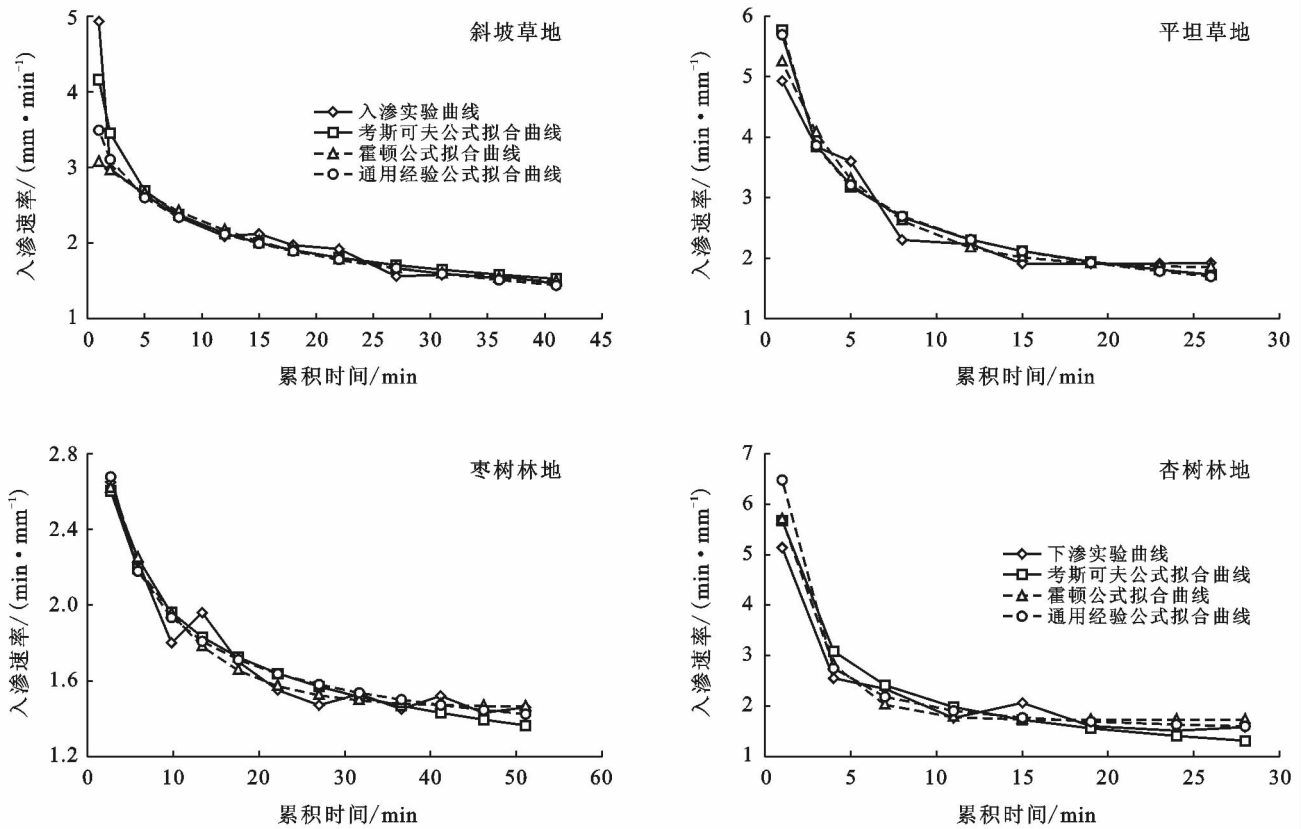


图 2 风成黄土土壤入渗速率与 3 种方程的拟合曲线

表 2 黄土洼不同植被土壤入渗特征值

样地类型	初始入渗率/ (mm · min ⁻¹)	稳定前入渗率/ (mm · min ⁻¹)	稳定入渗率/ (mm · min ⁻¹)	平均入渗率/ (mm · min ⁻¹)	累计入渗量/ ml
斜坡草地	2.48	1.70	1.54	1.90	78.1
平坦草地	2.98	2.44	1.91	2.46	63.9
枣树林地	2.13	1.58	1.47	1.67	85.2
杏树林地	2.81	1.61	1.56	2.02	56.8
淤积玉米地 A	4.97	1.25	1.10	1.80	177.5
淤积玉米地 B	2.13	1.25	0.99	1.23	56.8
淤积玉米地 C	2.48	1.03	0.90	1.22	78.1
淤积玉米地 D	3.19	1.44	0.90	1.61	85.2
淤积玉米地 E	1.06	0.95	0.78	0.89	56.8
淤积玉米地 F	1.70	0.82	0.69	0.87	56.8

3.4 土壤入渗速率的拟合

土壤的入渗速率都会随着时间递减,有的植被表层土壤入渗率递减得快,而有的植被表层土壤入渗率递减得较慢^[16-17],分析不同植被的土壤入渗特点。采用考斯加可夫(Kostiakov)模型、霍顿(Horton)模型以及通用经验模型进行拟合^[18,19],比较不同模型的拟合效果。不同类型植被的土壤入渗方程拟合效果存在着差异。

考斯加可夫公式为:

$$f(t) = at^{-b}$$

式中: $f(t)$ ——入渗速率; t ——入渗时间; a, b ——由试验数据进行拟合得到的参数。当 t 趋于无穷大的时候, $f(t)$ 趋于0;当 t 趋于0的时候, $f(t)$ 趋于无穷大。只有在水平吸渗的情况下才能出现 t 趋于无穷大,垂直条件下是不符合的。但在一般实际情况下,只要确定入渗时间 t 后,用此公式来拟合入渗速率比较准确。

a 值表示的是第一阶段时间内平均土壤入渗速率的系数,与黄土的初始含水量以及土壤容重有密切关系^[20-22]。一般来说, a 值越大,土壤的初始含水量越高。 b 值越大,入渗速率会随着时间减小得越快, b 值越小,入渗速率随着时间减小得越慢。

霍顿公式为:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

式中: k ——特征常数; f_0 ——初始入渗速率; f_c ——稳定入渗速率; k ——常数,决定着 $f(t)$ 从初渗率减小到稳渗率 f_c 的速度; t ——入渗时间。此公式缺少一定经验性,但由于使用起来方便,至今仍被广泛应用。

通用经验公式:

$$f(t) = c + dt^{-n}$$

式中: c, d ——土壤初渗率和稳渗率; n ——经验参数,需根据试验数据进行拟合得出; t ——入渗时间。

选取淤积地和风成黄土 10 个样地的入渗试验曲线与 3 种入渗经验公式进行拟合,将拟合得到的相关系数和参数进行更详细的分析(表 3)可知,所选取的 10 组数据用考斯加可夫公式拟合时 a 值变化范围较大,在 2.09~16.03 之间,淤积地 A 样地的 a 值最大, E 样地的 a 值最小。除了淤积地 C 样地与 F 样地,其余试验点 a 值大小顺序与实际计算出的初渗率大小顺序相同,说明考斯加可夫公式拟合结果与实际结果偏差较小。公式中 b 值反映了土壤入渗速率随着时间减小的速度,其范围较小,在 0.26~0.55 之间。淤积地 F 样地的 b 值最大,枣树林地的 b 值最小,说明黄土洼淤积地 F 样地入渗速率随着时间递减最快,枣树林地的土壤入渗速率随着时间递减最慢。霍顿模型拟合结果与实测入渗数据的相关性一般,其相关系数 R^2 在 0.66~0.97 之间。初渗率和稳渗率最大的分别为 A 样地和平坦草地,最小的分别为 E 样地和 F 样地,其排序与实际入渗数据结果存在着一些误差,拟合效果一般。从拟合结果来看,所有点中初渗率和稳渗率最大的分别是杏树林地和斜坡草地,最小的分别是斜坡草地和枣树,与实际测量得到的结果存在着很大偏差。用通用经验公式与入渗曲线进行拟合效果整体不好。综合以上 3 种经验入渗模型与实测入渗数据的相关系数以及拟合程度来看,考斯加可夫公式能较准确的描述研究区内土壤入渗速率的变化。

表 3 黄土洼 3 种入渗经验公式中参数的回归分析结果

经验公式	考斯加可夫公式			霍顿公式				通用经验公式			
	a	b	R^2	f_c	$f_0 - f_c$	k	R^2	c	d	n	R^2
斜坡草地	4.16	0.27	0.87	1.39	1.80	0.07	0.74	-155.23	158.72	0.00	0.71
平坦草地	5.77	0.37	0.77	1.83	4.21	0.21	0.71	-0.48	6.17	0.32	0.73
枣树林地	3.24	0.22	0.94	1.46	1.60	0.12	0.84	0.93	2.68	0.43	0.85
杏树林地	5.68	0.44	0.86	1.72	6.11	0.43	0.82	1.38	5.10	0.95	0.82
淤积玉米地 A	16.03	0.46	0.97	1.61	7.82	0.20	0.97	-20.29	36.83	0.15	0.92
淤积玉米地 B	3.87	0.39	0.93	0.97	2.35	0.13	0.86	0.38	3.79	0.51	0.83
淤积玉米地 C	6.17	0.54	0.93	1.04	6.81	0.33	0.83	0.69	5.98	0.83	0.82
淤积玉米地 D	6.41	0.46	0.94	1.08	4.81	0.14	0.91	-2.70	8.65	0.23	0.85
淤积玉米地 E	2.09	0.26	0.73	0.81	1.53	0.18	0.66	0.75	4.24	1.27	0.63
淤积玉米地 F	4.85	0.55	0.91	0.69	3.85	0.20	0.86	0.43	5.31	0.81	0.84

3.5 研究区粒度与孔隙度的分析

土层入渗率与粒度成分密切相关,为查明研究区粒度成分对入渗率的影响,对 10 个试验样地共 200 个样品进行粒度分析。按照本研究的目标和实际情况,

本文采用的是乌登—温德华(Udden-Wentworth)粒度标准^[23],这也是我国海洋局常用的标准粒度分类方法,以公式 $D = 2^{-a}$ ^[24]。算出粒度间距,如 256, 128, 64, 16, ..., 1/256(mm),这种分级标准方法严谨且便于计

算。得出的不同试验样地的土壤颗粒组成(表 4)。

对黄土洼不同植被土壤粒级进行分析(表 4)可知,黄土洼试验样地 2 m 土层以上的土壤颗粒组成以粗粉砂、细粉砂为主,其中粗粉砂(0.016~0.063 mm)的含量最高,变化范围在 46.21%~54.59%之间,平均含量为 50.97%。细粉砂(0.004~0.016 mm)含量在 19.96%~30.66%之间,平均含量为

26.04%。极细砂、细砂、中砂和粗砂所占比重极小。这 10 个样地平均粒径大小表现为:杏树林地>平坦草地>枣树林地>C 样地>B 样地>A 样地>F 样地>斜坡草地>E 样地>D 样地。从整体情况来看,风成黄土比淤积地土壤平均粒径大。淤积地上游 A 样地、B 样地和 C 样地的平均粒径比下游 D 样地、E 样地、F 样地的大一些。

表 4 黄土洼不同植被土壤粒级分析

土地类型	粒级组成							平均 粒径/ μm
	黏土/%	粉砂/%		砂/%				
		细粉砂	粗粉砂	极细砂	细砂	中砂	粗砂	
枣树林地	8.68	27.06	46.49	16.89	0.82	0.03	0.01	33.29
杏树林地	6.53	19.96	52.81	19.76	0.75	0.00	0.00	37.87
斜坡草地	7.85	28.02	52.01	11.92	0.23	0.00	0.00	29.22
平坦草地	8.95	30.66	50.26	9.81	0.34	0.01	0.00	37.18
淤积玉米地 A	8.06	27.12	50.07	14.02	0.70	0.00	0.00	31.67
淤积玉米地 B	7.13	23.55	54.59	14.35	0.49	0.00	0.00	32.50
淤积玉米地 C	7.61	23.84	53.30	14.87	0.27	0.09	0.02	32.67
淤积玉米地 D	7.10	25.02	46.21	20.04	1.63	0.00	0.00	26.69
淤积玉米地 E	7.95	28.52	51.13	11.92	0.47	0.02	0.00	29.20
淤积玉米地 F	7.73	26.72	52.78	12.60	0.15	0.02	0.02	30.25

对不同植被土壤的孔隙度进行分析(表 5)可知,这 10 个样地 0.5 m 深处土壤平均孔隙度大小表现为:平坦草地>斜坡草地>杏树林地>枣树林地>A 样地>C 样地>B 样地>D 样地>E 样地>F 样地。研究区土层上部 50 cm 以上的土层孔隙度较高,在 44.85%~57.15%,大约有 1/3 样品的孔隙度大于 50%,在垂向上随着土层深度减小。由此可见,淤积地土壤孔隙度较低,风成黄土上的土壤孔隙度较高。风成黄土中平坦草地土壤孔隙度最大,枣树林地土壤孔隙度最小。淤积地上游 A 样地、B 样地、C 样地的土壤孔隙度比下游 D 样地、E 样地、F 样地土壤孔隙度要大。

表 5 黄土洼不同植被土壤孔隙度变化

土地类型	0 cm 孔隙度/%	20 cm 处/%	40 cm 处 孔隙度/%	平均 孔隙度/%
斜坡草地	57.15	49.61	44.85	50.54
平坦草地	53.74	52.86	50.96	52.52
枣树林地	53.35	46.92	48.23	49.50
杏树林地	50.87	49.40	48.26	49.51
淤积玉米地 A	51.18	49.37	47.78	49.45
淤积玉米地 B	45.61	49.14	45.61	49.14
淤积玉米地 C	50.29	49.61	47.69	49.20
淤积玉米地 D	51.53	48.01	46.97	48.84
淤积玉米地 E	49.09	48.94	46.30	48.11
淤积玉米地 F	51.13	47.06	45.68	47.96

4 讨论

4.1 不同类型样地入渗率差异原因

这 10 个样地的稳定入渗速率相差较大,具体表现为:平坦草地>杏树林地>斜坡草地>枣树林地>A 样地>B 样地>C 样地>D 样地>E 样地>F 样地。明显看出草地和林地都比淤积玉米地各样地的稳渗率大。淤积玉米地的各样地中,在下游距离坝较近的 F 样地入渗率最低,在上游距离坝最远的 A 样地入渗率最高。研究区中地势较高的草地林地为风成黄土,主要由风力作用形成,呈灰黄色,粒度均一。淤积玉米地为水成土层,是受到流水冲刷搬运而堆积形成的黄土。发生地表侵蚀性降雨后,地表形成径流携带着泥沙进入沟谷内,水动力不足以搬运较粗颗粒物时,粗颗粒物逐渐堆积,而细颗粒物继续随着径流运移,到平缓稳定的环境下也逐渐沉积^[25]。水成黄土土壤颗粒以粉砂为主,并具有水平层理构造^[26],这种水平层理构造大大减缓了水分垂向入渗的能力。因此,不同的土层形成原因是淤积玉米地和草地林地入渗率差异的主要因素。这 10 个样地 50 cm 土层深度的平均孔隙度大小表现为:平坦草地>斜坡草地>杏树林地>枣树林地>A 样地>D 样地>C 样地>B 样地>E 样地>F 样地。总的来看,林地和草地都比淤积玉米地的孔隙度高。有研究^[27]表

明,土壤容重增大,非毛管空隙越少,水分在土壤中的入渗速度越慢。此外,风成黄土富含根孔等大孔隙而淤积地土壤大孔隙不发育,土壤孔隙直径小,连通性差,也会使水分入渗的速率减慢。

4.2 研究区土层入渗率与黄土高原中南部土层入渗率对比

植被是影响土壤入渗率的重要因素之一,能够造成土壤孔隙数量、大小的差异。本文研究区子洲县黄土洼位于陕西北部,小流域表层黄土稳定入渗率在 0.69~1.91 mm/min 之间,宜川县表层黄土稳定入渗率在 6.9~7.8 mm/min 之间^[29]。黄土高原北部和南部的土壤颗粒组成都以粉砂为主,但是北部地区的粗粉砂比南部要多。黄土高原北部气候偏干旱,年降水量较少,一般略小于 500 mm,决定了植被稀疏和土壤中植物根孔发育弱。黄土高原中南部气温高降水多,植被发育得好,植物的根系使得南部土壤大孔隙发育得好,土壤孔隙直径大,连通性好,水分入渗速率快。因此,黄土高原北部地区黄土层的孔隙度和入渗率较中南部低。

4.3 黄土洼土壤物理性质与土壤侵蚀

土壤颗粒粒径对其结构稳定性有着直接的影响^[30]。土壤颗粒粒径越小,其团聚体稳定性越大。这是由于随着土壤颗粒的减小,土壤团聚体内有机质的含量也随即减小,而粒径较小的土壤颗粒中有机质含量较少,受到外界的影响较小,小粒径土壤颗粒相比大粒径颗粒不易受到外界条件的影响而破碎,其稳定性越大^[31]。随着土壤颗粒直径的减小,土壤紧实度增加,导致其抗侵蚀的能力变强;反之,土壤粒径越大,土壤紧实度减小,其抗侵蚀的能力减弱^[32]。而土壤孔隙度反映了土壤的松紧度和对地表水的蓄积以及入渗能力,可判断土壤质地疏松程度。一般而论,土壤的孔隙度越大,土壤质地越疏松,水分在土壤中的入渗性能越好,土壤抗侵蚀的能力越强。黄土洼小流域的风成黄土颗粒较粗,孔隙度较大,入渗率较高。水成黄土淤积地土壤颗粒较细,孔隙度较小,入渗率较低,更容易产生地表径流,径流不断冲刷以及夹带泥沙,进而导致土壤侵蚀的发生。因此,本文研究的地区淤积地可能比风成黄土更容易发生土壤侵蚀。

5 结论

(1) 研究区黄土层上各类土壤入渗率比淤积玉米地入渗率高,前者稳定入渗率在 1.47~1.91 mm/min 之间,平均入渗率为 1.62 mm/min,后者稳定入渗率在 0.69~1.1 mm/min 之间,平均入渗率为 0.89 mm/min。

(2) 入渗率差异主要是土层形成原因不同所致。水成的淤积地具有水平层理构造,可减缓水分入渗能力。除此之外,淤积地土壤孔隙度比草地和林地小,连通性较差,因此淤积地入渗率低。

(3) 采用 3 种经验入渗模型与实测入渗数据拟合程度及相关系数来看,考斯加可夫公式能较准确的描述研究区内土壤入渗速率的变化情况,其拟合程度最高,其次是霍顿公式,而经验入渗公式拟合效果较差。表明考斯加可夫模型比较符合该区黄土入渗的研究。

(4) 研究区黄土洼小流域土壤侵蚀严重的重要原因之一是该地区风成黄土粒度较粗,容易产生地表径流,经过水流夹带泥沙和冲刷作用,加强了土壤的侵蚀。

[参 考 文 献]

- [1] 张勇. 淤积玉米地在陕北黄土高原综合治理中地位和作用研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [2] 吕刚, 翟景轩, 李叶鑫, 等. 辽西北风沙地不同植物群落土壤入渗特性[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(4): 133-139.
- [3] 蒋定生, 黄国俊, 谢永生. 黄土高原土壤入渗能力野外测试[J]. 水土保持通报, 1984, 4(4): 7-9
- [4] 赵洋毅, 王玉杰, 王云琦, 等. 渝北水源区水源涵养林构建模式对土壤渗透性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4162-4172.
- [5] 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.
- [6] 陶敏, 陈喜, 张志才, 等. 黄土高原区不同地貌类型下入渗水深度研究: 以南小河沟为例[J]. 中国农村水利水电, 2017, 34(6): 87-91, 96.
- [7] 吴佳, 王林华, 李占斌, 等. 黄土高原主要秋作物坡地降雨入渗特征参数研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 115-119.
- [8] 张升堂, 拜存有, 万三强. 黄土高原水土保持措施强化降雨入渗分析及灰色预测[J]. 水土保持通报, 2004, 19(2): 29-33.
- [9] 李刚. 降雨入渗试验研究: 黄土高原坡地改良基础研究之一[J]. 地理研究, 1994, 15(3): 115.
- [10] 岳大鹏, 李奎, 刘鹏, 等. 基于 RUSLE 的黄土洼小流域土壤侵蚀与水土保持研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2015, 43(2): 85-91.
- [11] 赵景波, 阴雷鹏, 刘护军. 陕西长武黄土剖面 S1-L4 土层入渗率与成因[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(5): 123-130.
- [12] Lai Jianpin, Ren Li. Assessing the size dependency of measured hydraulic conductivity using double-ring

- infiltrimeters and numerical simulation[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007,71(6):1667-1688.
- [13] 中科院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [14] 王则宇,蒙仲举,崔向新,等. 希拉穆仁天然草地不同群落土壤入渗特征[J]. 水土保持学报,2017,31(3):112-117.
- [15] Anis Elaoud, Nahla Ben Salah, Afif Masmoudi, Sayed Chehaibi. Modeling of soil penetration resistance using multiple linear regression [J]. Arabian Journal of Geosciences,2017,10(20):133-156.
- [16] 罗珠珠,黄高宝,张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,29(4):7-11.
- [17] 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.
- [18] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [19] Green W H, Ampt G A. Studies on soil physical:1, Flow of air and water through soil[J]. Journal of Agricultural Science, 1911,41(1):1-24.
- [20] Horton R E. An approach toward a physical interpretation of in filtration-capacity[J]. Soil Science Society of America Journal, 1940,5(3):399-417.
- [21] Philip J R. The theory infiltration;5, the influence of the initial moisture content[J]. Soil Science, 1957,13(84):329-339.
- [22] 丁延龙,高永,蒙仲举,等. 希拉穆仁荒漠草原风蚀地表颗粒粒度特征[J]. 土壤,2016,48(4):803-812.
- [23] Pettijohn F J. Sand and Sandstone[M]. New York: Springer-Verlag, 1987.
- [24] 穆兴民,徐学选,王文龙,等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J]. 土壤学报,2003,23(2):210-217.
- [25] Duan R, Fedler C B, Borrelli J. Field evaluation of infiltration models in lawn soils[J]. Irrigation Science, 2011,29(5):379-389.
- [26] 王珍. 秸秆不同还田方式对土壤水分特性及土壤结构的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [27] 赵景波,陈颖,曹军骥,等. 青海湖西北部土壤入渗规律研究[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2011,39(3):90-96.
- [28] 陈致富,魏天兴,赵健,等. 陕北风蚀水蚀交错区不同植被下土壤入渗性能差异性研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):232-235.
- [29] 王经民,吴钦孝,韩冰,等. 陕北黄土区土壤入渗模型比较探讨[J]. 农业系统科学与综合研究,2004,13(4):288-290.
- [30] 杨亚辉. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤理化性质影响分析[D]. 北京:中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2017.
- [31] 高海东,李占斌,李鹏,等. 基于土壤侵蚀控制度的黄土高原水土流失治理潜力研究[J]. 地理学报,2015,70(9):1503-1515.
- [32] 陈思旭,杨小唤,肖林林,等. 基于 RUSLE 模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究[J]. 资源科学,2014,36(6):1288-1297.
- [33] 闫峰陵. 红壤表土团聚体稳定性特征及其对坡面侵蚀过程的影响[D]. 湖北 武汉:华中农业大学,2008.

(上接第 89 页)

- [27] 苏永中,赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J]. 中国农业科学,2003,36(8):928-934.
- [28] 张晓娜,蒙仲举,黄昕,等. 荒漠草原不同植被覆盖下土壤粒度组成与速效养分特征[J]. 内蒙古林业科技,2018,44(1):37-40,55.
- [29] 周欣,左小安,赵学勇,等. 科尔沁沙地沙丘固定过程中植物生物量及土壤特性[J]. 中国沙漠,2015,35(1):81-89.
- [30] 郭艳菊. 不同植被恢复模式荒漠草原土壤有机碳含量及其分异特征[C]//北京:2018年中国草学会年会论文集,2018.
- [31] Grandy A S, Robertson G P. Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms[J]. Ecosystems, 2007,10(1):59-74.
- [32] 赵文智,何志斌,李志刚. 草原农垦区土地沙质荒漠化过程的生物学机制[J]. 地球科学进展,2003,18(2):257-262.
- [33] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [34] 刘冰,靳鹤龄,孙忠. 中晚全新世科尔沁沙地演化与气候变化[J]. 中国沙漠,2013,33(1):77-86.
- [35] 张军红,侯新. 毛乌素沙地油蒿植冠下土壤粒径特征及其影响因素分析[J]. 中国农业科技导报,2018,20(1):95-102.