

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 6 - 693 - 08

青海湖沙柳河镇南部土壤入渗规律

赵景波^{1,2}, 张慧慧¹, 马淑苗¹

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院 陕西 西安 710062;

2. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 陕西 西安 710075)

摘 要: 通过对青海湖北部沙柳河镇不同植被类型土壤入渗实验测定, 研究了不同植被类型土壤入渗特征及土壤蓄水性。结果表明, 青海湖农场四大队厚土层低草地、高草地、油菜地和沙柳河镇南薄土层低草地的初渗率均值分别为 4.55、4.71、0.64 和 2.31 mm/min, 稳定前平均入渗率均值分别为 2.09 mm/min、3.29 mm/min、0.53 mm/min 和 1.95 mm/min, 稳渗率均值分别为 1.53 mm/min、2.31 mm/min、0.32 mm/min 和 1.74 mm/min。在同一实验区, 不同植被类型的土壤入渗率为高草地 > 低草地 > 油菜地。同种植被厚土层的初渗率大于薄土层, 而厚土层的稳定前平均入渗率和稳渗率小于薄土层。不同植被类型、不同土层厚度的土壤达到稳定入渗所需的时间存在一定的差异, 厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的入渗率达到稳定状态用时的均值分别为 125 min、87 min、40 min、49 min。霍顿模型是研究本区入渗过程较好模型, 考斯加科夫模型和通用经验模型在本区的适用性相对较差。由于青海湖北部土壤颗粒间的孔隙和土壤的孔隙度比陕西黄土高原区的大, 使得青海湖北部土壤稳渗率比陕西黄土高原区的较高。该区土壤厚度小, 土壤水库容量小, 蓄水能力小, 旱年易发生草原退化。

关键词: 土壤入渗率; 低草地; 高草地; 油菜地; 青海湖北部

中图分类号: P641 S152

文献标志码: A

入渗是大气降水、地表水、土壤水相互转化的一个重要环节^[1]。而土壤入渗能力与土壤性质、地形及土地利用方式等有密切关系^[2-5], 且入渗能力的时空变异规律存在一定的差异^[6-8]。在国外, Green 和 Ampt 最早提出了土壤入渗理论, 即 Green - Ampt 模型^[9]。随后 Horton、Philip 和 Kostiaikov 分别提出了 Horton 模型^[10]、Philip 模型^[11]和 Kostiaikov 模型^[12]。国内学者对土壤水分入渗也做了诸多研究, 蒋定生等^[8]研究了黄土高原地区土壤的入渗率, 发现黄土高原土壤入渗率具有明显的地域差异。王全九等^[13]建立了 Philip 入渗模型和 Green - Ampt 入渗模型参数间的内在关系, 发现了 Philip 入渗模型对参数精度要求较高, 而 Green - Ampt 入渗模型对参数要求较低。赵雨森等^[14]研究发现, 前人的 3 个模型在黑龙江省西部半干旱区的适用性依次为 Kos-

tiakov、Horton 和 Philip。张治伟^[15]研究得出, 土壤入渗性能与有机质、水稳性团聚体和孔隙度有显著相关性。徐敬华等^[16]研究认为, 黄土丘陵区短期退耕的土壤入渗能力较天然草地差, 下层入渗能力较天然草地强, 土壤结皮阻碍土壤水的入渗。过去对土壤水分入渗的研究主要集中于半干旱与半湿润地区, 而对高寒的青海湖地区研究很少。

本文选取青海湖流域沙柳河镇附近草原土壤为研究对象, 运用双环法实测土壤水分入渗性能并做模型模拟, 目的是认识该区土壤水分入渗规律和土壤水库的特点, 为土壤水资源利用提供科学依据。

1 研究区概况与方法

研究区选在青海湖北部的刚察县, 属青海省海

收稿日期(Received date): 2013 - 02 - 07; 改回日期(Accepted): 2013 - 05 - 20。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划项目(2007BAC30B01); 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG1214)。

[The Ministry of national science and technology support program(2007BAC30B01); Project of State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, CAS, No. SKLLQG1214.]

作者简介(Biography): 赵景波(1953 -), 男, 山东滕州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事第四纪与环境科学研究。[Zhao Jingbo(1953 -), Ph. D. and Professor, specialized in Quaternary and environmental science.] E-mail: zhaobjb@snnu.edu.cn

北藏族自治州。刚察县地处 $99^{\circ}20' \sim 100^{\circ}37'E$ $36^{\circ}58' \sim 38^{\circ}0'N$, 属高原大陆性气候, 年平均气温 $-0.6^{\circ}C$, 最高气温 $25^{\circ}C$, 最低气温 $-31^{\circ}C$ 。年降水量仅 381 mm, 蒸发量 1 500 mm, 日照总时数 3 036 h, 平均海拔在 3 300 m。该区土壤为栗钙土, 植被为高寒草甸草原, 土层厚度变化较大, 多在 0.2 ~ 1.8 m 之间, 土壤有机质含量为 1% 左右或略多。

本文共选取 2 个实验区, 第 1 个实验区位于青海湖农场四大队, 距沙柳河镇约 10 km, 实验区土层厚度为 1 m 左右, 包括低草地、高草地和油菜地 3 种类型。在低草地和高草地分别选择 4 个实验点进行实验, 在油菜地选择 2 个实验点进行实验。低草地草高在 3 ~ 15 cm, 盖度 60% ~ 90% 不等; 高草地草高在 30 ~ 80 cm, 盖度 $>80\%$ 。第 2 个实验区位于沙柳河镇南约 500 m 的平坦低草地上, 植被盖度在 70% 以上, 选择 4 个实验点进行实验, 各实验点相距约 4 m, 第 1 实验点和第 2 实验点土层厚度为约 0.5 m, 第 3 和第 4 实验点土层厚度约 0.2 m。

入渗实验采用双环测定法, 入渗环由直径 30 cm 和 60 cm 的两个金属圆环组成, 环高 20 cm。实验时将两环同心埋入土中约 10 cm, 然后在内外两环底部铺垫一层厚约 3 ~ 5 cm, 直径约 1 cm 的细砾石, 以减少加水冲刷对土壤表层结构的破坏。然后注水于两环中, 内外环水深均保持 5 cm 水高, 以防

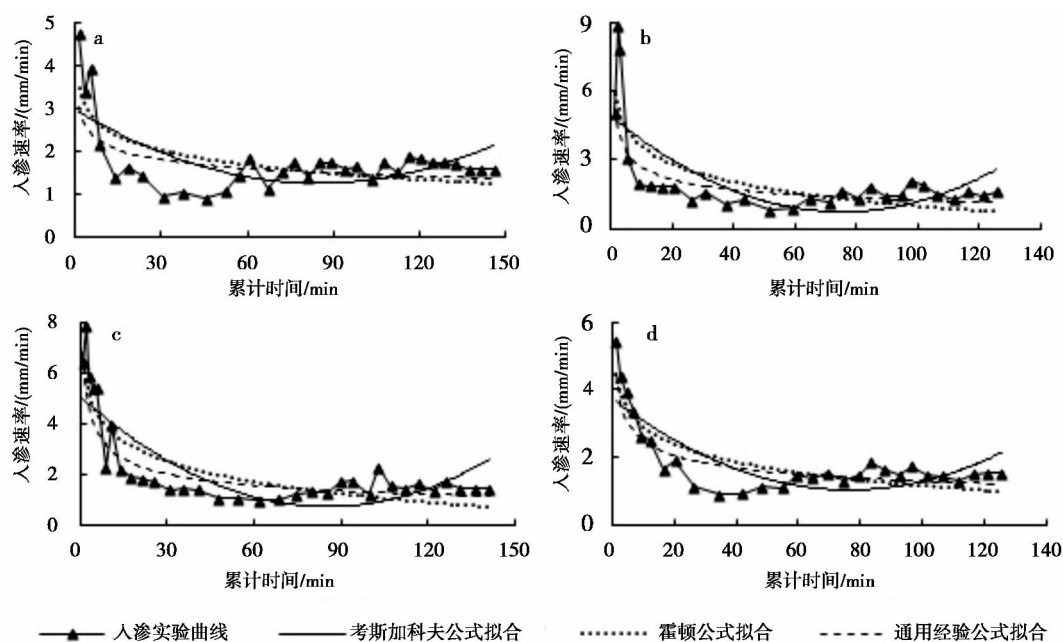
止内外环互渗。在环壁 5 cm 高处标出水位刻度线, 先将水加至刻度线处, 随着水分的不断入渗减少, 用 500 ml 量杯向环内加水, 使两环内始终保持 5 cm 的水体高度, 同时记录消耗 500 ml 水分所用的时间。直到连续 3 次消耗 500 ml 水量的时间基本相同为止, 然后计算入渗速率。

2 入渗实验结果

从渗水实验曲线(图 1~4)可以看出, 每个实验点的入渗率变化趋势基本都是先急剧的下降, 接着下降速率慢慢减缓, 至到降到最低点后, 又缓慢波动式增加, 最后达到稳定状态。故根据多项式拟合得出 $t=0$ 时的入渗率(起始入渗率), 将入渗前 10 min 的平均入渗率作为初渗率, 并按照起始入渗率、初渗率、稳定前平均入渗率、稳渗率和达到稳定状态的用时等指标对研究区渗水实验结果进行介绍。

2.1 青海湖农场四大队低草地土壤入渗率

由实验结果知, 青海湖农场四大队低草地第 1 实验点(图 1a) 起始入渗率为 2.97 mm/min, 初渗率为 3.54 mm/min, 稳定前平均入渗率为 1.78 mm/min, 稳渗率为 1.57 mm/min, 经过约 137 min 入渗后达到稳定状态。低草地第 2 实验点(图 1b) 起始入渗率为 4.94 mm/min, 初渗率为 5.36 mm/min, 稳



a ~ d 分别为厚土层低草地 4 个实验点入渗曲线

图 1 青海湖农场四大队低草地渗水实验结果和用 3 种渗水经验公式对渗水速率的拟合

Fig. 1 Infiltration rates of low grasslands in the fourth group of Qinghai Lake Farm and their fitting curves of three empirical equations

定前平均入渗率为 2.24 mm/min, 稳渗率为 1.61 mm/min, 经过约 116 min 入渗后达到稳定状态。低草地第3实验点(图 1c) 起始入渗率为 5.09 mm/min, 初渗率为 5.33 mm/min, 稳定前平均入渗率为 2.38 mm/min, 稳渗率为 1.42 mm/min, 经过约 131 min 入渗后达到稳定状态。低草地第4实验点(图 1d) 起始入渗率为 3.76 mm/min, 初渗率为 3.96 mm/min, 稳定前平均入渗率为 1.97 mm/min, 稳渗率为 1.51 mm/min, 经过约 116 min 入渗后达到稳定状态。

2.2 青海湖农场四大队高草地土壤入渗率

青海湖农场四大队高草地第1实验点实验结果(图 2a) 表明, 起始入渗率为 3.67 mm/min, 初渗率为 3.54 mm/min, 稳定前平均入渗率为 2.66 mm/min, 稳渗率为 1.68 mm/min, 约 90 min 后入渗率达到稳定状态。第2实验点(图 2b) 起始入渗率为 2.91 mm/min, 初渗率为 2.97 mm/min, 稳定前平均入渗率为 2.13 mm/min, 稳渗率为 1.63 mm/min, 约 95 min 后入渗率达到稳定状态。第3实验点(图 2c) 起始入渗率为 6.62 mm/min, 初渗率为 3.79 mm/min, 稳定前平均入渗率为 3.85 mm/min, 稳渗率为 3.21 mm/min, 约经过 77 min 入渗后达到稳定状态。第4实验点(图 2d) 起始入渗率为 9.01 mm/min, 初渗率为 8.54 mm/min, 稳定前平均入渗率为

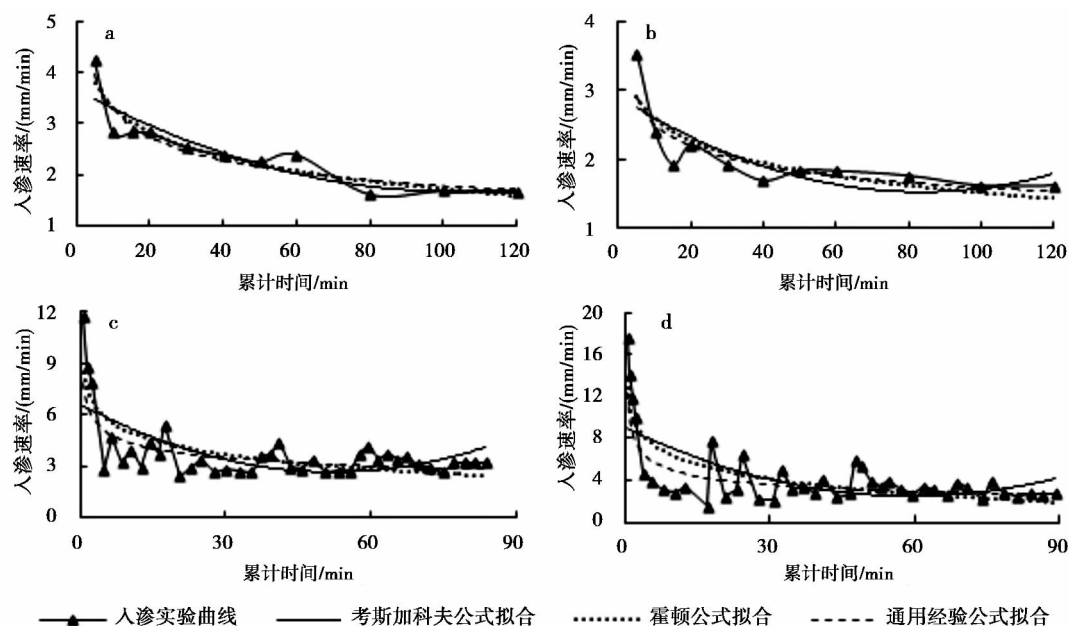
4.53 mm/min, 稳定入渗率为 2.72 mm/min, 约经过 84 min 入渗后达到稳定状态。

2.3 青海湖农场四大队油菜地土壤入渗率

油菜地第1实验点渗水实验结果(图 3a) 显示, 起始入渗率为 0.87 mm/min, 初渗率为 0.71 mm/min, 稳定前平均入渗率为 0.68 mm/min, 稳渗率为 0.50 mm/min, 约 40 min 后入渗率达到稳定状态。第2实验点(图 3b) 起始入渗率为 0.93 mm/min, 初渗率为 0.57 mm/min, 稳定前平均入渗率为 0.38 mm/min, 稳渗率为 0.14 mm/min, 约 40 min 后入渗率达到稳定状态。

2.4 沙流河镇南薄土层低草地土壤入渗率

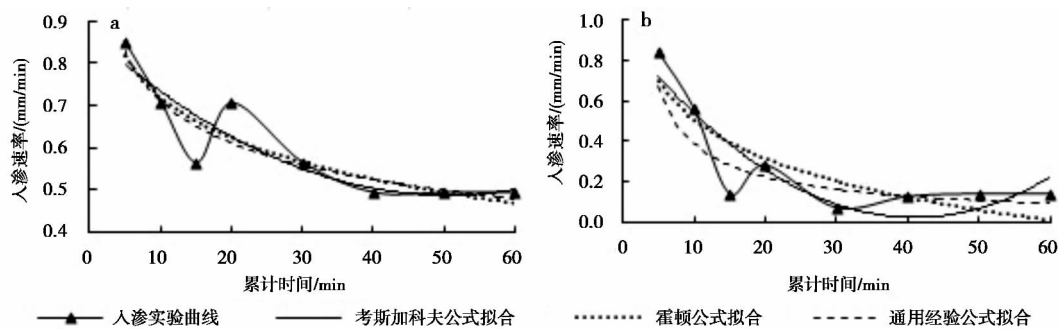
刚察县南薄土层低草地第1实验点渗水实验结果(图 4a) 显示, 起始入渗率为 2.48 mm/min, 初渗率为 2.28 mm/min, 稳定前平均入渗率为 1.88 mm/min, 稳渗率为 1.54 mm/min, 约 62 min 后入渗率达到稳定状态。第2实验点(图 4b) 起始入渗率为 2.31 mm/min, 初渗率为 2.14 mm/min, 稳定前平均入渗率为 1.82 mm/min, 稳渗率为 1.59 mm/min, 约 52 min 后入渗率达到稳定状态。第3实验点(图 4c) 起始入渗率为 2.78 mm/min, 初渗率为 2.44 mm/min, 稳定前平均入渗率为 2.05 mm/min, 稳渗率为 1.83 mm/min, 约 36 min 后入渗率达到稳定状态。第4实验点(图 4d) 起始入渗率为



a ~ d 分别为高草地4个实验点入渗曲线

图2 青海湖农场四大队高草地渗水实验结果和用3种渗水经验公式对渗水速率的拟合

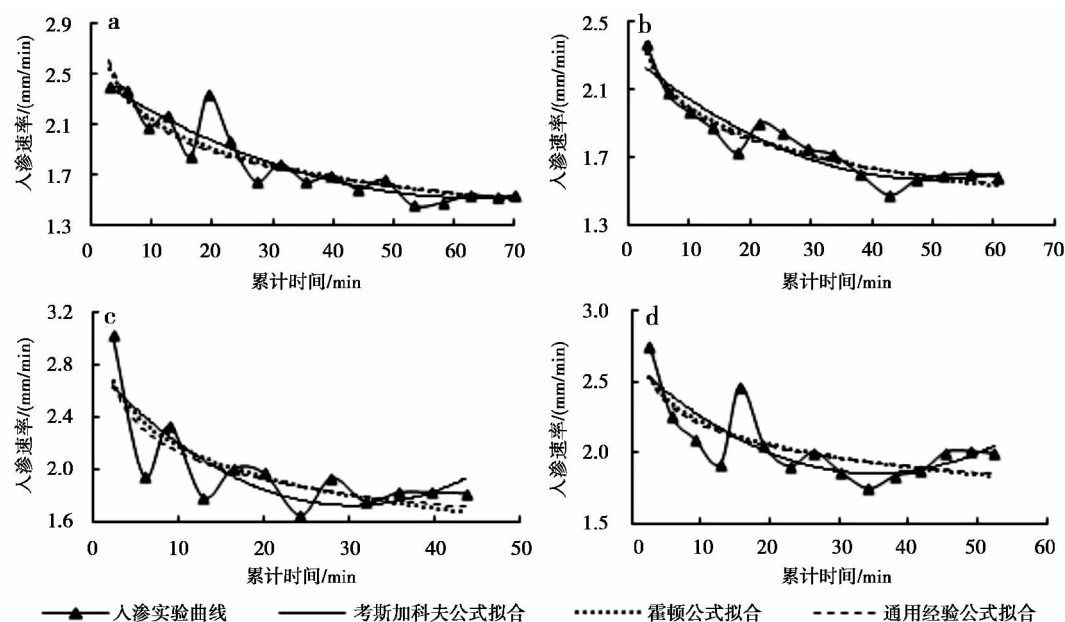
Fig. 2 Infiltration rates of high grasslands in the fourth group of Qinghai Lake Farm and their fitting curves of three empirical equations



a 和 b 分别为油菜地 2 个实验点入渗曲线

图 3 青海湖农场四大队油菜地渗水实验结果和用 3 种渗水经验公式对渗水速率的拟合

Fig. 3 Infiltration rates of rape field in the fourth group of Qinghai Lake Farm and their fitting curves of three empirical equations



a ~ d 分别为薄土层低草地 4 个实验点入渗曲线

图 4 沙流河镇南薄土层低草地入渗速率与 3 种方程的拟合曲线

Fig. 4 Infiltration rates of low grasslands from thin soil of southern Shaliuhe Town and their fitting curves of three empirical equations

为 2.64 mm/min, 初渗率为 2.37 mm/min, 稳定前平均入渗率为 2.06 mm/min, 稳定入渗率为 2.00 mm/min, 约 45 min 后入渗速率达到稳定状态。

4 讨论

4.1 研究区入渗实验数据的适用模型

各国学者在研究土壤水分入渗过程中建立了很多入渗模型, 一般可分为两类: 一类为经验性模型, 如 Kocotakob 模型和通用经验模型; 一类为物理性模型, 模型中各项具有明确的物理意义, 如 Green-Ampt 模型和 Horton 模型。本文将青海湖沙柳河镇

入渗实验数据选用如下 3 种渗水经验模型进行拟合, 探讨其在本研究区的适用性。考斯加可夫 (Kocotakob) 公式: $f(t) = at^{-b}$, 式中 $f(t)$ 为入渗速率 (mm/min), t 为入渗时间 (min), a 值主要由初渗率决定, 其主要受结构、孔隙度和非毛管孔隙度等影响, b 值主要与稳渗率有关, 其表示入渗速率随时间减小的程度, b 值越大, 则入渗速率随时间减小的越快, 反之越慢。霍顿 (Horton) 公式为 $f(t) = fc + (f_0 - fc)e^{-kt}$, 式中 f_0 和 fc 分别为初渗率 (mm/min) 和稳渗率 (mm/min), k 为反映土壤特性的经验参数, t 为入渗时间 (min)。通用经验公式为 $f(t) = a_1 + b_1t^{-n}$, 式中 a_1 值主要反映初始入渗率大小, a_1 大,

初渗率大,反之则小, b_1 值反映初渗率与稳渗率差值的大小, b_1 大,初渗率与稳渗率的差值大,反之则小; n 值的变化与入渗率的变化成反比, t 为入渗时间(min)。

通过用以上 3 种渗水公式对沙柳河镇渗水实验回归分析得表 1。从表 1 得,用考斯加可夫公式拟合厚土层低草地土壤入渗实验数据得 a 值较小,基本变化在 4.68 ~ 8.91 mm/min 之间,均值为 6.91 mm/min。高草地的 a 值相对较大,变化在 4.55 ~ 12.37 mm/min,均值为 8.01 mm/min。油菜地 a 的均值为 2.54 mm/min。薄土层低草地的 a 值在 2.71 ~ 3.19 mm/min 变化,均值为 2.95 mm/min。说明高草地土壤的初渗率最大,厚土层低草地和薄土层低草地的次之,油菜地的最小。厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的 b 的均值分别为 0.35、0.28、0.56 和 0.14,说明油菜地的土壤入渗率递减最快,厚土层的低草地和高草地次之,薄土层低草地的最慢。即上述拟合结果表明油菜地达到稳定状态用时最短,厚土层低草地达稳定状态用时比高草地的短,但上述实验表明,厚土层低草地达到稳定状态用时比高草地的大很多,说明考斯加科夫模型在本区适用性较差。用霍顿公式拟合时,厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的平均初渗率 f_0 分别为 7.69、11.07、0.87 和 3.11 mm/min,即高草地初渗率最大,厚土层低草地和薄土层低草地次

之,油菜地的最小,这与实测结果相符。厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的平均稳渗率 f_c 分别为 1.44 mm/min、2.62 mm/min、0.30 mm/min 和 1.72 mm/min,即高草地稳渗率最大,厚土层低草地和薄土层低草地次之,油菜地最小,这与实测相符。厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的 k 值均值分别为 0.17、0.30、0.07 和 0.16,说明不同植被类型土壤特性存在差异。上述拟合结果表明霍顿模型较适合本区。在通用经验公式拟合结果中,薄土层低草地的第 1 采样点土壤的 a_1 值为负数,为异常值,这在实际中是不可能的。因此,剔除异常值,对剩余 13 个实验点在通用经验公式拟合下所显示的规律进行研究。厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的 a_1 均值分别为 0.89 mm/min、1.99 mm/min、0.20 mm/min 和 1.51 mm/min,即高草地初渗率最大,薄土层低草地比厚土层低草地大,油菜地最小,这与实测结果不符。厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的 n 均值分别为 0.62、0.77、0.82 和 0.83,即不同植被类型下入渗率变化的快慢表现为厚土层低草地 > 高草地 > 油菜地 > 薄土层低草地。结合 a_1 和 n 得出,薄土层低草地比厚土层低草地达到稳定状态用时长,这与实测不符,说明通用经验模型不适合本区。因此霍顿模型是研究本区入渗过程较好的模型,考斯加科夫模型和通用经验模型在本区的适用性较差。

表 1 沙柳河镇地区入渗实验数据用 3 种入渗经验公式拟合结果

Table 1 The fitting results of infiltration experimental data in three kind infiltration equations in Shaliuhe region

采样点	考斯加科夫公式			霍顿公式				通用经验公式			
	a	b	R^2	f_0	f_c	k	R^2	a_1	b_1	n	R^2
1	4.68	0.27	0.60	5.86	1.50	0.19	0.82	1.38	5.06	0.83	0.73
2	8.91	0.44	0.68	10.29	1.43	0.21	0.79	0.89	9.02	0.65	0.70
3	8.26	0.40	0.83	8.40	1.41	0.13	0.93	0.25	8.14	0.43	0.84
4	5.80	0.32	0.82	6.21	1.43	0.14	0.93	1.04	5.61	0.59	0.86
5	6.13	0.27	0.90	4.24	1.66	0.04	0.82	0.68	5.99	0.36	0.90
6	4.55	0.24	0.79	3.54	1.75	0.08	0.80	1.70	15.63	1.33	0.94
7	9.00	0.25	0.47	15.19	3.68	0.55	0.57	3.28	6.02	0.78	0.86
8	12.37	0.37	0.79	21.29	3.37	0.53	0.86	2.31	9.57	0.60	0.82
9	1.48	0.21	0.79	0.85	0.47	0.05	0.76	0.33	1.10	0.47	0.80
10	3.59	0.90	0.88	0.89	0.12	0.08	0.78	0.07	5.30	1.17	0.89
11	3.07	0.16	0.80	2.39	1.51	0.04	0.81	-115.40	118.29	0.01	0.82
12	2.71	0.14	0.91	2.37	1.57	0.05	0.89	0.86	1.98	0.25	0.92
13	3.19	0.17	0.71	4.47	1.86	0.36	0.80	1.79	3.54	1.26	0.83
14	2.82	0.10	0.58	3.22	1.95	0.20	0.65	1.89	2.16	0.98	0.68

注:1~4 为厚土层低草地,5~8 为厚土层高草地,9、10 为厚土层油菜地,11~14 为薄土层低草地。

4.2 土壤入渗率差异及原因

研究区厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地初渗率均值分别为 4.55 mm/min、4.71 mm/min、0.64 mm/min 和 2.31 mm/min, 稳定前平均入渗率均值分别为 2.09 mm/min、3.29 mm/min、0.53 mm/min 和 2.12 mm/min, 稳渗率均值分别为 1.53 mm/min、2.31 mm/min、0.32 mm/min 和 1.95 mm/min, 达到稳定状态用时的均值分别为 125 min、87 min、40 min、49 min。可见, 土壤入渗率达到稳定状态用时在不同植被类型、不同土层厚度下相差较大。同一实验区, 不同植被类型的土壤初渗率为高草地 > 低草地 > 油菜地, 稳定前平均入渗率为高草地 > 低草地 > 油菜地, 稳渗率为高草地 > 低草地 > 油菜地(图 5)。同种植被在不同土层厚度的土壤初渗率为厚土层低草地大于薄土层低草地, 稳定前平均入渗率为薄土层低草地大于厚土层低草地, 稳渗率为薄土层低草地 > 厚土层低草地(见图 5)。土壤初渗率通常与土壤初始含水量负相关^[17], 土壤初始含水量越大, 初渗率越低, 反之则越高。我们的测定表明, 厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地的平均含水量分别为 16.1%、14.0%、19.5% 和 19.0%。实验区都位于青海湖北部, 则其土壤结构、质地、降水量、气温、地下水埋藏深浅相同, 由于植被覆盖度和高度差异, 使得厚土层低草地地表蒸发量比高草地略多, 植被蒸腾量比高草地小, 加之高草地生长所需水分比厚土层低草地大很多, 使得厚土层低草地含水量大于高草地。而油菜地受人为灌溉的影响, 使其含水量最高, 所以高草地初渗率大于厚土层低草地和油菜地。

高草地根系深度通常大于 30 cm, 低草地的根系分布深度在 30 cm 之内, 这使得高草地处的孔隙

较多的疏松土层厚度大于低草地处的, 所以高草地稳渗率大于厚土层低草地。油菜地产生的枯落物很少, 基本都被人为的收割, 且在农耕时人畜践踏密度较大, 以致耕作层以下土壤的容重增大, 使其土壤渗水性会降低, 故其稳渗率最小。

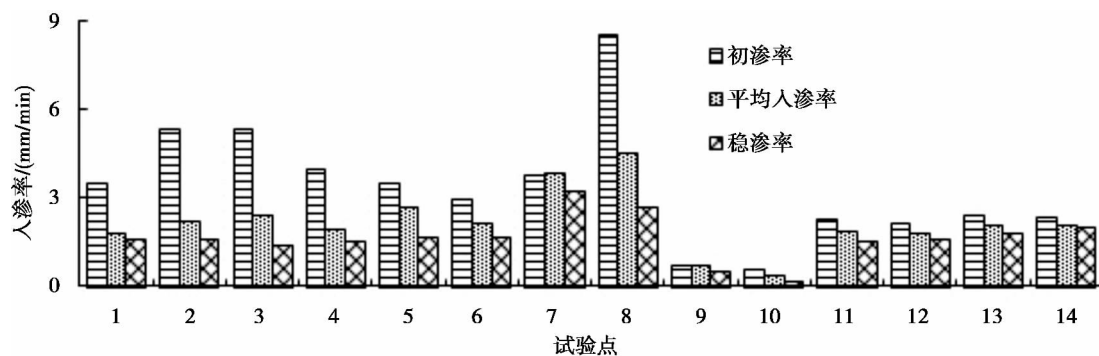
4.3 青海湖北部草地土壤稳渗率与陕西黄土高原区的差别

根据前人对陕西黄土渗水规律研究表明, 延安地区的稳渗率为 1.15 ~ 1.30 mm/min, 泾洛渭台塬区的为 0.60 ~ 0.90 mm/min, 陕西东部的甚至低于 0.50 mm/min^[8]。而青海湖北部厚土层低草地的稳渗率在 1.42 ~ 1.61 mm/min 间, 高草地的在 1.63 ~ 3.21 mm/min 间波动, 油菜地的在 0.14 ~ 0.50 mm/min 之间波动, 薄土层低草地的稳渗率在 1.54 ~ 2.00 mm/min 间。从整体来看, 青海湖北部草地的土壤稳渗率比陕西黄土高原区的大, 造成这种差异的原因值得讨论。土壤的稳渗率与孔隙度和土壤质地等有关^[17]。构成粗粒土层的孔隙直径较大, 使得颗粒间的孔隙大, 这决定了孔隙的连通性较好, 有利于水分快速入渗^[20-21]。青海湖北部土壤主要为粗粉砂^[22], 比延安地区黄土粒度略粗^[19], 且沙流河镇土壤的孔隙度比陕西黄土高原区的大^[22-23], 所以青海湖北部草地土壤稳渗率比陕西黄土高原区稳定入渗率普遍较高。

5 结论

综上所述, 可得如下结论:

1. 研究区土壤初渗率为高草地 > 厚土层低草地 > 薄土层低草地 > 油菜地, 稳定前平均入渗率为高草地 > 薄土层低草地 > 厚土层低草地 > 油菜地,



1~4 为厚土层低草地, 5~8 为厚土层高草地, 9、10 为厚土层油菜地, 11~14 为薄土层低草地

图 5 沙柳河镇不同植被类型入渗速率对比

Fig. 5 Comparison of average infiltration rate of different vegetation at Shaliuhe town

稳渗率为高草地 > 薄土层低草地 > 厚土层低菜地 > 油菜地。

2. 研究区厚土层低草地、高草地、油菜地和薄土层低草地达到稳定入渗所需要的时间约分别为 125 min、87 min、40 min 和 49 min。不同植被类型、不同土层厚度的土壤达到稳定入渗所需的时间存在一定的差异。

3. 霍顿模型是研究本区入渗过程较好模型,考斯加科夫模型和通用经验模型在本区的适用性相对较差。

4. 由于青海湖北部土壤颗粒间的孔隙及土壤的孔隙度比陕西黄土高原区的大,利于水分入渗,所以青海湖北部土壤稳渗率比陕西黄土高原区稳定入渗率普遍较高。

参考文献(References)

- [1] Brakensiek D L, Rawls W J. Soil containing rock fragments: effects on infiltration [J]. Catena, 1994, 23: 99 - 110
- [2] Liu Huifang, Cao Wenhong, Wang Xiangdong. Study on soil moisture infiltration and simulation in different land use of the loess area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(5): 42 - 45 [刘卉芳, 曹文洪, 王向东. 黄土区不同地类土壤水分入渗与模拟研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 42 - 45]
- [3] Zhao Pengyu, Xu Xuexuan, Liu Puling, et al. Infiltration characteristics under different land uses in the loess hilly area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 29(1): 40 - 44 [赵鹏宇, 徐学选, 刘普灵, 等. 黄土丘陵区不同土地利用方式土壤入渗规律研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 40 - 44]
- [4] Wang Yueling, Jiang Qi, Cai Jinjun, et al. Spatial variability of infiltration rate in the semiarid loess hilly and gully area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 28(4): 52 - 55 [王月玲, 蒋齐, 蔡进军, 等. 半干旱黄土丘陵区土壤水分入渗速率的空间变异性[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 52 - 55]
- [5] Li Xiaohong, Gao Jiarong. Experiment about soil water infiltration of different vegetation coverage in Miyun reservoir [J]. Forestry Science & Technology, 2010, 35(2): 22 - 24 [李晓宏, 高甲荣. 密云水库区不同植被覆盖下土壤水分入渗试验[J]. 林业科技, 2010, 35(2): 22 - 24]
- [6] Shi Liangsheng, Cai Shuying, Yang Jinzhong. Study on spatial variability of subrainfall infiltration coefficient and simulation of the stochastic field [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1): 79 - 85 [史良胜, 蔡树英, 杨金忠. 次降雨入渗补给系数空间变异性研究及模拟[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 79 - 85]
- [7] Qiao Zhaohua. Variability of soils water infiltration features [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(3): 118 - 120 [乔照华. 土壤水分入渗特性的时间变异规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(3): 118 - 120]
- [8] Jiang Dingsheng, Huang Guojun. Study on the filtration rate of soils on the Loess Plateau of China [J]. Acta Pedologica Sinica, 1986, 23(4): 299 - 305 [蒋定生, 黄国俊. 黄土高原土壤入渗速率的研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 299 - 305]
- [9] Green W, Ampt G A. Studies on soil physics: 1. Flow of air and water through soil [J]. J Agric Sci, 1911, 4(1): 1 - 21
- [10] Horton R E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity [J]. Soil Sci, Soc Am Proc, 1940, 3: 399 - 417
- [11] Philip J R. The theory of infiltration about sorptivity and algebraic infiltration equations [J]. Soil Sci, 1957, 84(4): 257 - 264
- [12] Kostikov A N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from dynamic point of view for purposes of amelioration [J]. Soil Sci, 1932, 97(1): 17 - 21
- [13] Wang Quanjie, Lai Jianbin, Li Yi. Comparison of green - ampt model with philip infiltration model [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 13 - 16 [王全九, 来剑斌, 李毅. Green - Ampt 模型与 Philip 入渗模型的对比分析[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 13 - 16]
- [14] Zhao Yusen, Wei Yongxia. Infiltration regularity and its simulation in the west semiarid region Heilongjiang province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(4): 110 - 112 [赵雨森, 魏永霞. 黑龙江省西部半干旱区土壤水分入渗规律及其模拟研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 110 - 112]
- [15] Zhang Zhiwei, Zhu Zhangxiong, Wang Yan, et al. Soil infiltration capacity and its influencing factors of different land use types in Karst slope [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 71 - 76 [张治伟, 朱章雄, 王燕, 等. 岩溶坡地不同利用类型土壤入渗性能及其影响因素[J]. 2010, 26(6): 71 - 76]
- [16] Xu Jinghua, Wang Guoliang, Chen Yunming, et al. Infiltration characteristics of soil and its influencing factors in abandoned farmland in the Hilly - gully region of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 8(2): 19 - 25 [徐敬华, 王国梁, 陈云明, 等. 黄土丘陵区退耕地土壤水分入渗特征及影响因素[J]. 中国水土保持科学, 2008, 8(2): 19 - 25]
- [17] Zhu Bingbing, Zhang Pingcang, Ding Wenfeng, et al. Infiltration process in the middle and upper reaches of the Yangtze River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(4): 43 - 47 [朱冰冰, 张平仓, 丁文峰, 等. 长江中上游地区土壤入渗规律研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(4): 43 - 47]
- [18] Wang Guoliang, Liu Guobin, Zhou Shenglu, et al. The effect of vegetation restoration on soil stable infiltration rates in small watershed of loess gully region [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(5): 529 - 535 [王国梁, 刘国彬, 周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 529 - 535]
- [19] Wang Li, Shao Ming'an, Hou Qingchun. Preliminary research on measured indexes of dried soil layer [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4): 87 - 90 [王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤干层量化指标初探[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 87 - 90]
- [20] Chen Lihua, Yu Xinxiao. A study on the infiltration property of forests for soil and water conservation in West Shanxi Province [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(1): 42 - 47 [陈丽

- 华,余新晓. 晋西黄土地区水土保持林地土壤入渗性能的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 42-47]
- [21] Wang Yueling, Zhang Yuanrui, Cai Jinjun et al. A study on variation of soil water during different ecological restoration or reconstruction in loess hilly and gully regions of Southern Ningxia [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(7): 367-369 [王月玲, 张源润, 蔡进军, 等. 宁南黄土丘陵不同生态恢复与重建中的土壤水分变化研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 367-369]
- [22] Zhao Jingbo, Shao Tianjie, Niu Junjie. Permeability and water-bearing conditions of loess in Bailu tableland in the eastern suburbs of Xi'an [J]. Geographical Research, 2009, 28(5): 1188-1196 [赵景波, 邵天杰, 牛俊杰. 西安白鹿塬黄土渗透性与含水条件[J]. 地理研究, 2009, 28(5): 1188-1196]
- [23] Zhao Jingbo, Chen Ying, Cao Junji et al. Study on the soil infiltration rule in the northwest of Qinghai Lake [J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2011, 39(3): 90-96 [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]

Soil Infiltration Rule in Southern Shaliuhe Town of Qinghai Lake Area

ZHAO Jingbo^{1, 2}, ZHAO Huihui¹, MA Shumiao¹

(1. Tourism and Environment College, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China)

Abstract: Through the determination of soil infiltration experiments on different vegetation types in southern Shaliuhe Town of Qinghai Lake area, the characteristics of the soil infiltration and the water maintenance in soil of different vegetation types were analyzed. The result showed that the mean values of initial infiltration rate of low grasslands, high grasslands and rape fields of thick soil in the fourth group of Qinghai Lake Farm and low grasslands of thin soil in southern Shaliuhe town were separate 4.55, 4.71, 0.64 and 2.31 mm/min. Average infiltration before stability were 2.09, 3.29, 0.53 and 1.95 mm/min respectively. The steady soil infiltration was 1.53, 2.31, 0.32 and 1.74 mm/min separately. In the same land, soil infiltration of high grasslands was highest. The soil infiltration of rape fields was lowest. The soil infiltration of low grasslands was intermediate. The time at which soil infiltration comes to a steady state was different among different vegetation types and soil thickness. Horton formula was a better one for fitting the experimental data, and the applicability of Kozyakov formula and general empirical formula was bad in the study area. Soil porosity and the porosity among soil particle of southern Qinghai Lake were bigger than Shaanxi Loess Plateau's, which led to that steady soil infiltration of southern Qinghai Lake was higher than that of Shaanxi Loess Plateau. The characteristics of small soil thickness, low capacity of soil reservoir and little storage capacity in the study area determined the fragile ecological environment and grassland degradation easily occurred in drought years.

Key words: soil infiltration; low grassland; high grassland; rape field; north Qinghai Lake