

黄土地表生物结皮对土壤贮水性能 及水分入渗特征的影响

王翠萍¹, 廖超英¹, 孙长忠², 田小雄³, 吕建亮¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300;

3. 水利部黄委会黄河上中游管理局规划设计院, 陕西 西安 710021)

摘 要: 采用双环法对山西省偏关县 3 种结皮覆盖下(苔藓藻结皮、藻结皮和薄层藻结皮)土壤的贮水性能和渗透特征进行了对比研究。结果表明:不同结皮覆盖下土壤的贮水能力受结皮厚度和孔隙度状况的影响较大,0~10 cm 土层饱和贮水量为 502.69~525.80 t/hm², 滞留贮水量为 169.71~198.29 t/hm²;初渗速率的变化范围为 5.19~11.10 mm/min, 无结皮最高, 苔藓藻结皮最低;稳渗速率变化范围为 1.67~2.67 mm/min。采用的 3 种入渗模型(Kostiakov 模型、Horton 模型和 Philip 模型)中 Horton 模型的拟合值更接近于实测值, 决定系数 R^2 在 0.98~0.99, 更适用于描述本研究区具有生物结皮土壤的入渗特征。

关键词: 土壤生物结皮; 贮水能力; 入渗速率; 入渗模型

中图分类号: S152.7*2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0054-06

土壤生物结皮是由生长在土壤表面及其以下的细菌、真菌、藻类、苔藓和地衣等个体微小的生物与土壤相互作用形成的一个复合层次^[1,2], 生物结皮的发育改变了表层土壤的理化性质, 进而影响土壤的水分入渗。黄土高原是我国乃至世界上水土流失最严重的地区, 该区气候变化剧烈、地形复杂多变而且地表状况比较复杂, 加之人为不合理的开垦和过度放牧, 造成以水土流失和土地沙漠化为突出问题的脆弱生态环境综合景观^[3]。近年来, 为了有效防治水土流失、实现生态系统良性循环, 黄土高原地区先后实施了退耕还林、还草工程, 大面积退耕撂荒地, 进入了一个人为扰动较少的土壤、植被恢复过程, 加之该区相对于沙漠地区较好的土壤、水分条件^[4], 在退耕撂荒地上形成了大面积的生物结皮。

生物结皮的形成显著影响着土壤的水分物理性质, 尤其是土壤的渗透性和贮水能力。目前, 虽然国内外学者就生物结皮对其下土壤水分入渗的影响做了一些研究, 但因所选研究区域、生物结皮类型、试验条件、测定工具、方法以及所用对照类型等的不一^[5,6], 所得研究结果存在很大分歧, 大致可归纳为促进、降低以及无明显影响 3 种。英国学者 Eldridge^[7]以及 Greene 等^[8]认为, 生物结皮中微生物所分泌的胶体物质及其菌丝捆绑土壤颗粒和有机物质, 形成水稳性团聚体, 提高了土壤孔隙度, 改善了

土壤物理结构, 为水分向土壤入渗创造了水流通道, 导致入渗率的增加, 另外生物结皮的存在抑制了物理结皮的形成, 间接促进了降雨入渗; 与此相反, Eldridge 认为^[9]若去除生物结皮入渗量将增加 3~5 倍, Moore 研究结果^[10]表明, 表土结皮能减小入渗量 70% 左右; 除此以外, Williams 通过比较生物结皮破坏前后的入渗率发现二者并无显著差异^[11]。Eldridge^[12]通过一系列试验得出了“无论是饱和入渗还是非饱和入渗, 生物结皮对入渗均无影响”的结论, 他认为: 在生物结皮覆盖度高的地方, 土壤大孔隙的作用占绝对优势而导致生物结皮覆盖的影响微不足道, 水分可以有效地通过结皮层, 因而入渗率高; 在生物结皮缺失的地方, 由于地表遭受侵蚀的缘故, 大孔隙缺乏, 水分只能通过机制孔传导, 入渗率本来就低, 因此生物结皮对入渗的影响应归因于土壤物理性质(特别是多孔性和团聚体稳定性)的不同、水分进入土壤剖面通道的不同以及地表侵蚀史的差异, 而不是生物结皮的存在与否。

为此, 本文以位于黄土高原的陕西省偏关县陈家营藻类研究试验场为代表, 以退耕撂荒地(无植被的荒草地)上的三种藻类结皮(苔藓藻结皮、藻结皮、薄层藻结皮)为研究对象, 探讨土壤生物结皮的形成对土壤渗透及贮水能力的影响, 以期为土壤生物结皮的研究积累资料, 为进一步明确该区土壤生物结

收稿日期: 2008-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(30670339)

作者简介: 王翠萍(1982—), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 主要从事林业生态工程方面的研究。E-mail: wangcuiping.518@163.com。

通讯作者: 廖超英(1959—), 男, 安徽宿州人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: chaoying95@163.com。

皮的科学管理提供理论依据和技术支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原半干旱区的山西省偏关县陈家营藻类试验场,地处东经 111°21'2"~112°0'48",北纬 39°12'56"~39°39'88"。土壤类型为沙质黄土,土质松散、贫瘠,土壤有机质含量 2.9 g/kg,pH 值为 7.5^[13]。藻类试验场的地形特点为典型的沙质黄土丘陵区,气候属温带大陆性气候。年平均气温 8℃,全年无霜期 105~145 d;年降水量 419 mm,雨季降水 235 mm,年蒸发量 2 037.5 mm。藻类结皮主要分布在人为扰动少的阴坡油松、樟子松林地及撂荒地上,本文研究撂荒地上生物结皮的土壤贮水性能及水分入渗特征。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 野外调查发现,在藻类试验场中其沙质较重的黄土地表,已覆盖着茂密的黑褐色土壤藻类,产生了坚硬的藻类结皮层,与周围土地形成了极其鲜明的对照,使原本已沙化的松散地表,变成了人过无痕的“硬化地面”,暴雨过后未看到冲蚀现象;并且藻类主要分布在阴坡、半阴坡这些水分条件相对较好的地方,在无植被的荒坡上生长最为旺盛,因此,本实验选取人为扰动少、藻类结皮发育相对完整且坡度、海拔等地理条件基本一致的阴坡荒地作为研究区域,以区内三种藻类结皮(苔藓藻结皮、藻

结皮、薄层藻结皮)为研究对象,每种结皮类型随机设立临时样地 3 块,每块临时样地的面积为 25 m²(5 m×5 m)。调查记录其植被组成、结皮分布状况、颜色、盖度、厚度等,并分别在每块样地上设立无结皮对照。样地基本概况见表 1。

1.2.2 样品采集与测定

(1)土壤容重和孔隙度测定。2008 年 5 月,在设置的临时样地内按“S”型布点,分别选取 3 个试验点,用土铲和镊子采集结皮层,用游标卡尺测定结皮厚度(生物结皮厚度是指土壤较为干燥时施加外力能够使生物结皮层完整自然剥离的厚度,是生物结皮层及所黏附土壤层的总厚度),每个试验点重复 5 次。采完结皮后,用环刀(100 cm³ 体积)取 0~10 cm 原状土测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度,每个试验点重复 3 次^[14]。

(2)土壤贮水量的计算。计算 0~10 cm 土层土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量,公式如下^[15]:

$$W_c = 10000 P_c h r$$
$$W_{nc} = 10000 P_{nc} h r$$
$$W_t = 10000 P_t h r$$

式中: W_c 为土壤吸持贮水量(t/hm²); P_c 为毛管孔隙度(%); W_{nc} 为土壤滞留贮水量(t/hm²); P_{nc} 为非毛管孔隙度(%); W_t 为土壤饱和贮水量(t/hm²); P_t 为总孔隙度(%); h 为土层厚度(m); r 为水的比重(t/m³)。

表 1 各样地基本情况
Table 1 General features of plots

结皮类型 Crust types	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	植被 Vegetation	植被盖度 Vegetation coverage(%)	结皮盖度 Crust coverage (%)	结皮厚度 Crust thickness(mm)	结皮特征 Crust characteristic
苔藓藻 Moss and algae	1432	8	西偏南 11°	狗尾草 ^① 、茵陈蒿 ^②	10	60	8~10.5	表面有黄绿色苔藓,垫状丛生,结皮厚度较大。Yellow-green moss on surface, thick crust.
	1459	5	西偏南 9°	狗尾草 ^① 、茵陈蒿 ^②	20	50	9~12	
	1513	3	西偏南 9.5°	猪毛菜 ^③ 、狗尾草 ^① 、冰草 ^④	15	55	9~11	
藻 Algae	1432	8	西偏南 11°	猪毛菜 ^③ 、狗尾草 ^①	15	90	5.5~8	成片发育,色黑而坚硬,表面略有凹凸,呈黑褐色。Developing in large area, black and hard.
	1459	5	西偏南 9°	草木樨 ^⑤ 、狗尾草 ^①	15	80	4~6	
	1513	3	西偏南 9.5°	铁杆蒿 ^⑥ 、草木樨 ^⑤	20	90	4.5~6.5	
薄层藻 Thin-layer algae	1432	8	西偏南 11°	狗尾草 ^① 、苦荬菜 ^⑦	25	55	3.5~5.5	表面光滑平坦,薄而脆,易破碎,灰白色相间。Smooth surface, thin and brittle, alternate grey and white.
	1459	5	西偏南 9°	狗尾草 ^①	15	90	1.5~3	
	1513	3	西偏南 9.5°	狗尾草 ^① 、冰草 ^④	20	70	2~3.5	
无结皮 No crust	1432	8	西偏南 11°	狗尾草 ^① 、铁杆蒿 ^⑥	5	0	0	无 None
	1459	5	西偏南 9°	狗尾草 ^① 、地锦、马齿苋 ^⑧	20	0	0	
	1513	3	西偏南 9.5°	狗尾草 ^① 、冰草 ^④	15	0	0	

注 Note:西偏南: West-south. ① *Setaria viridis*; ② *Oriental wormwood*; ③ *Salsola collina*; ④ *Agropyron cristatum*; ⑤ *Melilotus suaveolens* Ledeb; ⑥ *Triptol sater*; ⑦ *Ixeris denticulate*; ⑧ *Portulaca oleracea* Linn.

(3) 土壤水分入渗特征的测定。采用“双环法”,所采用的双环内环直径 20 cm,外环直径 30 cm,内外环均高 20 cm,打入土中的深度内外环均为 15 cm。加水用人工控制,试验时内外环同时供水,用秒表计时。

2 结果与分析

2.1 土壤生物结皮对土壤容重、孔隙状况及贮水能力的影响

土壤容重不仅是反映土壤紧实程度的指标之一,也是表征土壤肥力水平和退化程度的重要因子,同时它还与土壤孔隙度和渗透速率密切相关^[16]。如图 1 所示,从整个样地土壤容重 9 重复的均值来看,不同结皮类型对土壤容重的影响较大,随结皮厚度的增加容重值均有所减少,土壤容重大小依次为无结皮(1.311 g/cm³)>薄层藻结皮(1.304 g/cm³)>藻结皮(1.266 g/cm³)>苔藓藻结皮(1.263 g/cm³)。土壤总孔隙度包括毛管孔隙度和非毛管孔隙度。从图 1 看出,土壤总孔隙度的大小顺序依次是苔藓藻结皮(52.06%)>藻结皮(51.37%)>薄层藻结皮(50.21%)>无结皮(49.77%),其中毛管孔隙度的大小顺序为苔藓藻结皮(35.26%)>藻结皮(31.74%)>薄层藻结皮(31.35%)>无结皮(29.26%),非毛管孔隙度为藻结皮(19.63%)>薄层藻结皮(18.86%)>无结皮(17.50%)>苔藓藻结皮(16.80%)。这可能是由于土壤生物结皮能有效地积累土壤中的有机碳并且固定大气中的氮素,在土壤表层形成有机质层^[17],使土壤有机质含量增加,导致土壤容重减小,孔隙度增大,间接增大了土壤的毛管孔隙度和非毛管孔隙度。

土壤贮水能力是评价土壤涵养水源及调节水分循环的一个重要指标,可分为吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量。其中滞留贮水量一般认为与土壤

的入渗能力和水文调节功能具有更加直接的关系,是由非毛管孔隙度计算出来的。土壤饱和贮水量是滞留贮水量与吸持贮水量之和,反映了土壤调节和贮蓄水分的潜在能力^[18]。从表 2 看出,试验样地 0~10 cm 土层土壤的饱和贮水量大小依次为苔藓藻结皮>藻结皮>薄层藻结皮>无结皮,有结皮覆盖土壤的饱和贮水能力明显高于无结皮土壤,且随结皮厚度的增加贮水能力增强。土壤吸持贮水量表现出与饱和贮水量相同的规律,其大小依次为苔藓藻结皮>藻结皮>薄层藻结皮>无结皮,虽然苔藓藻结皮影响下土壤的饱和贮水量大于藻结皮、薄层藻结皮和无结皮,但其滞留贮水量却小于三者。就土壤含水量和吸持贮水量来看,苔藓藻结皮和藻结皮覆盖下土壤的保水性要优于无结皮土壤,这说明土壤生物结皮具有较好的保水能力,能将有限的雨水资源较好地保存在表层土壤中。

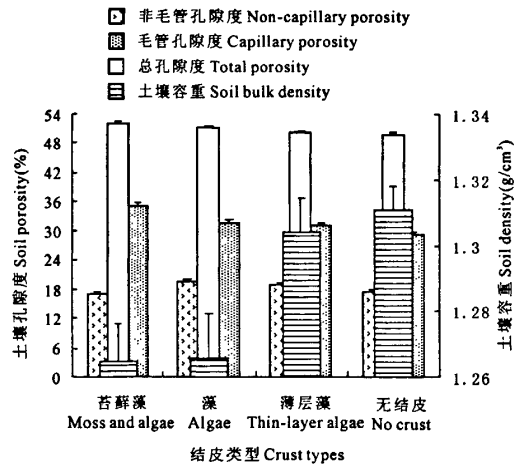


图 1 结皮覆盖下的土壤容重和孔隙状况

Fig.1 Effect of biological soil crust on soil bulk density and soil porosity

表 2 结皮覆盖下土壤的贮水能力

Table 2 Effect of biological soil crust on soil water storage capacity

结皮类型 Crust types	结皮厚度 Thickness (mm)	0~10 cm 土层含水量 Soil moisture(%)	0~10 cm 土层贮水量 Water storage(t/hm ²)		
			滞留贮水量 Detention	吸持贮水量 Retention	饱和贮水量 Saturation
苔藓藻 Moss and algae	8~12	3.01±0.09	169.71	356.10	525.80
藻 Algae	4~8	3.70±0.17	198.29	320.57	518.86
薄层藻 Thin-layer algae	1.5~3.5	2.70±0.07	190.49	316.65	507.13
无结皮 No crust	0	1.98±0.21	176.71	295.55	502.69

注:生物结皮厚度是指土壤较为干燥时施加外力能够使生物结皮层完整自然剥离的厚度,是生物结皮层及所黏附土壤层的总厚度,用游标卡尺测定;下同。

Note: The biological soil crust thickness includes biological soil crust layer and the soil adhered to biological soil crust; It is the same as below.

综上所述,具有生物结皮的土壤,在滞留贮水、吸持贮水和饱和贮水方面都表现出一定的优势,其土壤水分贮蓄和调节作用好,可以有效保持有限的雨水资源、充分利用土壤水分。因此在半干旱的黄土区荒地上适当增加生物结皮的覆盖面积,可增加 0~10 cm 土层土壤的贮水能力。

2.2 土壤生物结皮对土壤渗透性能的影响

双环法测定的土壤水分入渗过程曲线见图 2。可以看出,在入渗的初始阶段,土壤水分入渗非常迅速,随着入渗时间的增加,入渗速率急剧下降,逐渐达到稳定入渗。由表 3 可知,不同结皮类型下土壤的入渗特征差异较大,初渗速率的变化范围为 5.19~11.10 mm/min;稳渗速率表现为薄层藻结皮>藻结皮>无结皮>苔藓藻结皮;稳渗时间的长短随结皮厚度的增加而减小;达到稳渗时的累积入渗量薄层藻结皮远大于其它各样地,无结皮和藻结皮次之,苔藓藻结皮最小。可以看出土壤生物结皮的厚度对土壤初渗和稳渗速率的大小有一定影响,结皮越厚,初渗和稳渗速率均越小,原因可能是:第一,土壤的初渗速度与土壤前期含水量有关,前期含水量越低,则土壤的初渗速度就越大;反之,前期含水量越高,则土壤的初渗速度就越小^[19],随着结皮厚度的增

加,土壤前期含水量逐渐变大(1.98%~3.01%),在一定程度上影响了土壤的入渗能力;第二,由于生物结皮形成初期(薄层藻结皮),土壤容重减小、孔隙度增大,改善了土壤渗透性能,但随着生物结皮的不断生长发育,发展成为旺盛的藻类结皮,再进一步到苔藓结皮,厚度的不断增加堵塞了地表基质孔,延缓了水分的下渗速度,使下渗水分减少,这与 Brotherson J D 等^[20~22]的观点基本一致。因此,与无结皮对照土壤相比,藻结皮和苔藓藻结皮降低了土壤入渗能力。

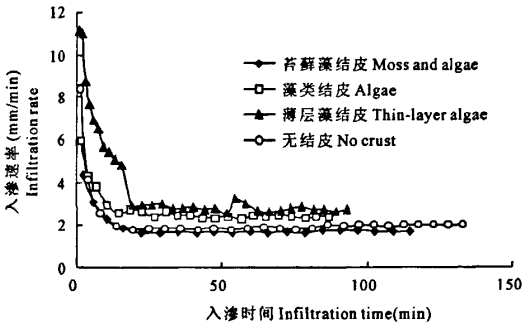


图 2 生物结皮影响下的土壤入渗速率
Fig.2 Effect of biological soil crust on soil infiltration rate

表 3 各样地土壤入渗特征参数
Table 3 Soil Infiltration parameters of experimental plots

结皮类型 Crust types	结皮厚度 Thickness (mm)	0~10 cm 土壤 初期含水量 Antecedent soil moisture (%)	初渗速率 Initial infiltration rate (mm/min)	稳渗速率 Stable infiltration rate(mm/min)	稳渗时间 Stable infiltration time(min)	达到稳渗时 的累积入渗量 Cumulative infiltration (mm)
苔藓藻 Moss and algae	8~12	3.01±0.09	5.19	1.67	34.81	72.45
藻 Algae	4~8	3.70±0.17	6.44	2.44	38.84	113.85
薄层藻 Thin-layer algae	1.5~3.5	2.70±0.07	11.10	2.67	44.02	186.30
无结皮 No crust	0	1.98±0.21	8.98	1.96	53.09	103.50

2.3 土壤水分入渗特征的数学模拟

描述土壤入渗速率的模型有很多^[23],包括理论模型、经验模型、混合模型等,其适用条件各异,常用的有以下几种:

- (1) Kostiakov 模型: $f(t) = mt^{-n}$
- (2) Horton 模型: $f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$
- (3) Philip 模型: $f(t) = 0.5st^{-0.5} + a$

式中: $f(t)$ 为入渗速率(mm/min); t 为入渗时间(min); f_0, f_c 分别为初渗和稳渗速率(mm/min); m, n, k, s, a 分别为试验求得的参数。

通过对 9 个结皮样地和 3 个无结皮样地的 12 组入渗试验数据进行拟合(表 4),以分析其结果,并评价 3 种模型在该区的适用性和准确性。

从表 4 可知,不同结皮覆盖下 Kostiakov 模型参数 m 变化范围在 4.827~12.211 之间,最大值出现在薄层藻结皮土壤,最小值出现在苔藓结皮土壤,它与土壤容重、前期含水量和孔隙状况有关; n 值变化在 0.263~0.363 之间, n 值越大,入渗速率随时间减小越快,可以看出薄层藻结皮入渗速率减小最快,苔藓藻结皮入渗速率减小最慢。Horton 模型拟合结果表明,初渗速率 f_0 变化在 5.950~12.255 mm/min 之间;稳渗速率 f_c 变化在 1.674~2.746 mm/min 之间; k 值变化在 0.126~0.381 之间,它反映了入渗速率的递减情况。Philip 模型拟合结果表明, a 值变化在 0.948~1.710 之间,无结皮最小,藻结皮最大, s 值变化在 9.19~22.84 之间,它反映了入渗速率的

递减情况,可以看出薄层藻结皮入渗速率减小最快, 苔藓结皮入渗速率减小最慢。

表 4 3 种入渗模型拟合结果
Table 4 The fitting results of three different soil infiltration models

结皮类型 Crust types	Kostiakov			Horton				Philip		
	m	n	R^2	f_0	f_c	k	R^2	s	a	R^2
苔藓藻 Moss and algae	4.827	0.263	0.81	5.950	1.674	0.196	0.99	9.190	1.064	0.90
藻 Algae	7.319	0.270	0.82	7.359	2.425	0.207	0.98	12.669	1.710	0.90
薄层藻 Thin-layer algae	12.211	0.363	0.94	12.226	2.746	0.126	0.98	22.843	1.386	0.92
无结皮 No crust	7.787	0.358	0.79	12.255	1.909	0.381	0.99	14.255	0.948	0.88

为了表述 3 种入渗模型的拟合值与实测值之间的拟合程度,将不同样地入渗模型的拟合值与实测值进行比较(图 3),可以看出,在入渗的初始阶段,土壤水分入渗非常迅速,随着入渗时间的增加,入渗速率急剧下降,逐渐达到稳定入渗。根据这一变化规律,土壤渗透曲线大致可分为 3 个阶段:渗透率瞬变阶段、渐变阶段和平稳阶段。在瞬变阶段,3 种模型的拟合点和实测点的数值较为接近;在入渗渐变阶段,只有 Horton 模型的拟合点和实测点的数值基本相同,其它两种模型拟合不理想;而在平稳阶段,

Horton 模型的拟合点和实测点更为接近,其它两种则相对较差。

从入渗模型拟合决定系数 R^2 值的大小可以判断不同模型的拟合效果,Kostiakov 模型 R^2 值变化在 0.79~0.94 之间,Horton 模型 R^2 值均在 0.98 以上,Philip 模型 R^2 值均在 0.88 以上,这表明 3 种入渗模型中 Horton 模型和 Philip 模型能较好地反映生物结皮覆盖后土壤的入渗过程,而 Horton 模型的拟合值更接近于实测值,更适用于描述该研究区生物结皮覆盖下的土壤入渗特征。

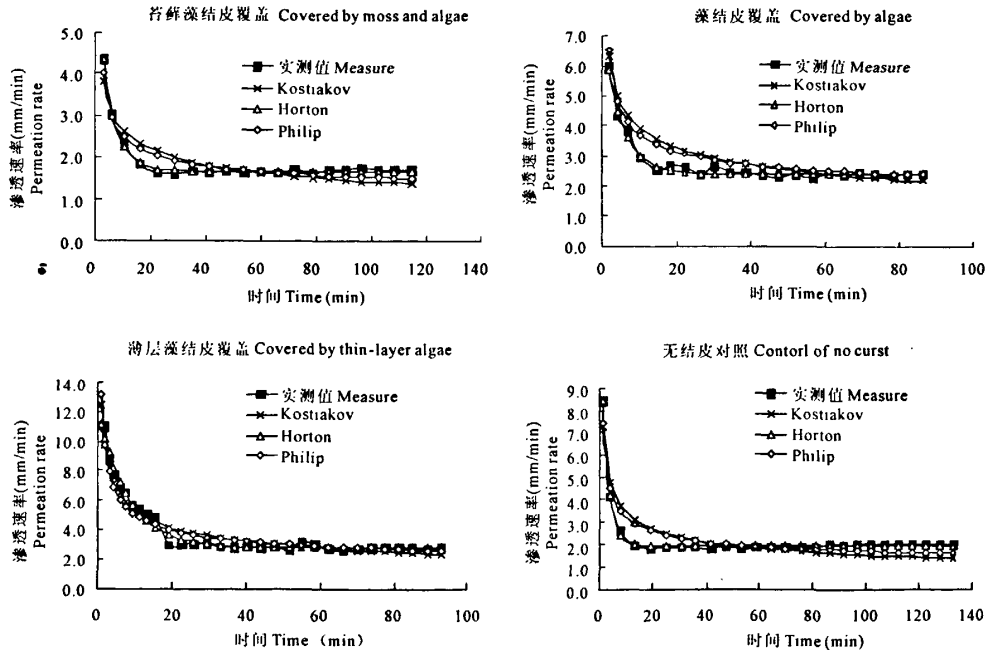


图 3 不同结皮覆盖土壤的 3 种入渗模型拟合曲线
Fig.3 The soil infiltration model fitting curve of different biological crust soil

3 结 论

1) 不同结皮覆盖下土壤的容重(0~10 cm)与无结皮对照相比均有所减少,各样地的土壤容重均

值大小依次为无结皮(1.311 g/cm³)>薄层藻结皮(1.304 g/cm³)>藻结皮(1.266 g/cm³)>苔藓藻结皮(1.263 g/cm³)。反映土壤潜在调蓄水分能力的总孔隙度大小顺序依次为苔藓藻结皮(52.06%)>藻

结皮(51.37%) > 薄层藻结皮(50.21%) > 无结皮(49.77%)。

2) 不同结皮覆盖下土壤的贮水能力受结皮厚度和孔隙度的影响较大,0~10 cm 土层范围内饱和贮水量在 502.69~525.80 t/hm² 之间,随结皮厚度的增加不断增加;滞留贮水量在 169.71~198.29 t/hm² 之间,其顺序依次为藻结皮 > 薄层藻结皮 > 无结皮 > 苔藓藻结皮。

3) 不同结皮覆盖下的土壤渗透性能也表现出较大差异,初渗速率的变化范围为 5.19~11.10 mm/min,无结皮最高,苔藓藻结皮最低;稳渗速率表现为薄层藻结皮(2.67 mm/min) > 藻结皮(2.44 mm/min) > 无结皮(1.96 mm/min) > 苔藓藻结皮(1.67 mm/min)。与无结皮土壤相比,藻结皮和苔藓藻结皮对水分入渗有一定的阻碍作用。

4) 由 3 种入渗模型拟合决定系数 R^2 的大小表明,Horton 模型和 Philip 模型能较好地反映生物结皮覆盖后土壤的入渗过程,而 Horton 模型的拟合值更接近于实测值,更适用于描述本研究区生物结皮土壤的入渗特征。

通过以上几个指标的综合分析看出,虽然具有生物结皮的土壤有降低水分入渗的作用,但其贮水能力明显优于无结皮对照,这可以将进入土壤的有限雨水资源有效地保存在土壤中,增加表层土壤的贮水、保水能力。

参考文献:

- [1] Harper K T, Marble J R. A role for nonvascular plants in management of arid and semiarid rangeland[C]//Tueller P T. Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1988: 135—169.
- [2] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystem of arid and semi-arid regions[J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179—223.
- [3] 唐克丽,张平仑,王斌科. 土壤侵蚀与第四纪生态环境演变[J]. 第四纪研究, 1991, (4): 300—309.
- [4] 赵允格,许明详,邵明安,等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化形状的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 441—447.
- [5] 肖波,赵永格,邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和导水率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 35—40.
- [6] 李新荣. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, (1): 4—11.
- [7] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic soil crusts: A view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32(3): 389—415.
- [8] Greene R S B, Charters C J, Hodgkinson K C. The effects of fire on the soil in degraded sem-arid woodland. I. Cryptogam cover and physical and micro-morphological properties[J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, 28: 755—777.
- [9] Eldridge D J, Zaady G J, Shaehak M E. Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev Israel[J]. Catena, 2000, 40(3): 323—336.
- [10] Moore. Effect of surface sealing on infiltration[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 24: 201—205.
- [11] Williams J D, Dobrowolski J P, Gillette D A, et al. The role of microphytic crust on wind induced erosion[R]. Albuquerque, New Mexico, U. S. A: Proc 46th Annual Meeting Soc Range Management, 1993.
- [12] Eldridge D J, Rosentreter R. Morphological groups: A framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes[J]. Arid Env, 1999, 41(1): 11—25.
- [13] 范春梅,廖超英,孙长忠,等. 放牧对黄土高原丘陵沟壑区林草地土壤特性的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(1): 24—28.
- [14] 张万儒,许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 187—194.
- [15] 田育新,李锦泉,吴建平,等. 小流域森林生态系统林地土壤渗透性能研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 173—175.
- [16] 卜崇峰,刘国彬. 纸坊沟流域狼牙刺对土壤物理性状的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 25—27.
- [17] 张振国,焦菊英,白文娟. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中生物土壤结皮特征[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 33—37.
- [18] 郝占庆,王力华. 辽西山区主要森林类型土壤持水能力研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237—241.
- [19] 王新平,康尔酒,李新荣,等. 土壤质地和初始含水量对水平入渗过程影响的试验研究[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 592—596.
- [20] Brotheron J D, Rushforth S R. Influence of cryptogamic crusts on moisture relationships of soil in Navajo National Monument Arizona[J]. Great Basin Naturalist, 1983, 43: 73—78.
- [21] 王新平,肖洪浪. 荒漠地区生物土壤结皮的水文物理特征分析[J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 593—598.
- [22] St Clair L L. Introduction to the symposium on soil crust communities[J]. Great Basin Nat, 1993, 53(1): 1.
- [23] 赵西宁,吴发超. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 42—45.

(英文摘要下转第 64 页)

- 研究[J].土壤,1997,(2):107—108.
- [8] 中国科学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:科技出版社,1978.
- [9] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科技出版社,2000.
- [10] 袁建德,王绪芳,熊伟,等.宁夏六盘山北侧5种典型植被的土壤持水性能研究[J].林业科学研究,2006,19(3):301—306.
- [11] 郭择德,程金茹,邓安,等.黄土包气带土壤特征曲线研究[J].辐射防护,2000,20(1—2):101—106.
- [12] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等.黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J].林业科学,1999,35(2):7—14.
- [13] 史竹叶,赵世伟.黄土高原土壤持水曲线的计算方法[J].西北农业学报,1999,8(6):44—47.
- [14] 朱祖祥.土壤学(上)[M].北京:农业出版社,1983.

The study on characteristics of water characteristic curve of mixed stroma of the peat and soil

GAO Hui-yi, WANG Yi-quan

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: The mixed soil made from the peat and clay with a certain amount of density according to different proportion was loaded into central knife. Then soil moisture content was measured and analyzed and the water characteristic curve was imitated with Van Gennuchten mathematical model under different suction using high-speed centrifuges and atmospheric balance mensurate, so as to analyze the difference of water-holding capacity of the mixed soil with various ratios of peat and clay. The results show that: ①If the ratio of peat and clay (less than 1 mm) is 3:1, the water-holding capacity is stronger than other ratio. ②If the ratio of peat and clay (3~5 mm) is 3:1 and 4:1, the water-holding capacity is better.

Key words: peat; water characteristic curve; high speed centrifuge; fitting

(上接第 59 页)

Effects of biological soil crusts on soil water storage capability and permeability in loess area

WANG Cui-ping¹, LIAO Chao-ying¹, SUN Chang-zhong², TIAN Xiao-xiong², LV Jian-liang¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China;

3. UMPR Xi'an Planning Design & Research Institute, YRCC, MWR, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: Method of double-rings was employed to study the characteristics of soil water storage capacity and permeability of three types of biological soil crust (moss-algal crust, algal crust and thin-layer algal crust) on the loess area of Pianguan, Shanxi Province. The results showed that water storage capacity of different crust types is influenced by the thickness of biological soil crust and soil porosity, the water storage capacity was from 502.69 ~ 525.80 t/hm² and the non-capillary water capacity was from 169.71 ~ 198.29 t/hm² with in 10mm soil depth of the three crust types. The soil initial permeability was from 5.19 ~ 11.10 mm/min, the no crust soil had the highest velocity and the moss-algal crust soil had the lowest velocity. The solid permeability rate was from 1.67 ~ 2.67 mm/min. By using the Horton seepage model, the fitted value was close to measured value and the range of determination coefficient was 0.98 ~ 0.99. Therefore, the Horton seepage model was applied to describe the soil infiltration characters which covered with biological soil crust in experimental region.

Key words: biological soil crust; water storage capacity; infiltration rate; infiltration model