

# 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和和导水率的影响

肖 波<sup>1,2</sup>, 赵允格<sup>1</sup>, 邵明安<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀  
与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 该文以陕北水蚀风蚀交错区普遍发育的地表和地上两种生物结皮为研究对象, 分别以 3 种非生物结皮(无结皮、物理结皮、去除生物结皮)为对照, 使用盘式入渗仪测定其饱和和导水率。结果表明: 与无结皮土壤相比, 两种类型生物结皮均可极显著降低土壤饱和和导水率; 与去除生物结皮土壤相比, 两种类型生物结皮对土壤饱和和导水率的降低均不显著; 与有物理结皮发育的土壤相比, 地表生物结皮对土壤饱和和导水率的降低不显著, 而地上生物结皮对土壤饱和和导水率的降低显著。一方面, 两种生物结皮对土壤饱和和导水率均有明显降低作用, 预示生物结皮在降雨活动中可能会增加径流、降低入渗, 阻碍研究区水分亏缺条件下的植被恢复和生态与环境建设。另一方面, 与不同的对照相比, 生物结皮对土壤饱和和导水率的影响截然不同, 该结论可在一定程度上解释当前有关生物结皮影响土壤水分入渗方面所存在的分歧。

**关键词:** 生物结皮; 土壤饱和和导水率; 土壤水分入渗; 陕北水蚀风蚀交错区

**中图分类号:** S152.7<sup>+</sup>2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1002-6819(2007)12-0035-06

肖 波, 赵允格, 邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和和导水率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 35-40.

Xiao Bo, Zhao Yunge, Shao Ming'an. Effects of biological soil crust on saturated hydraulic conductivity in water-wind erosion crisscross region, North of Shaanxi Province, China[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(12): 35-40. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

生物结皮(Biological Soil Crust, BSC)是由生长在土表及其以下的细菌和真菌等微生物、苔藓、藻类和地衣等低等植物与土壤相互作用形成的一个复合层次<sup>[1,2]</sup>;发育良好的生物结皮可在地表形成一层紧密外壳<sup>[3]</sup>,改变表层土壤理化性质,进而影响土壤水分入渗。作为沙漠及荒漠化地区普遍存在的地被物类型,引起了研究者的广泛关注<sup>[4]</sup>。

针对生物结皮对其下层土壤水分入渗的影响,国内外学者进行了较多的研究,但研究结果存在很大分歧,大致可概括为促进、降低以及无显著影响 3 种。Loope 和 Gifford 研究发现生物结皮能够促进降雨入渗,并认为生物结皮的粗糙表面阻碍水分流动、延长雨水滞留时间是其主要原因<sup>[5]</sup>,Eldridge<sup>[6]</sup>以及 Greene 等人<sup>[7]</sup>则将生物结皮入渗率的增加归因于土壤孔隙度的提高以及

物理结构的改善;与此相反,Graetz 和 Tongway 研究发现移除砂质土壤上的生物结皮后入渗能力可提高 3 倍<sup>[8]</sup>,李守中等在沙坡头人工植被固沙区天然及人工降雨条件下研究发现生物结皮的入渗深度和入渗率均低于流沙<sup>[9]</sup>;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<sup>[10]</sup>,Eldridge 则通过一系列试验得出“无论是饱和或非饱和条件下生物结皮对入渗均无影响”的结论<sup>[11]</sup>。分析以上研究结果可知,前人所做研究因所选生物结皮类型、测定指标、测定方法以及所用对照类型等存在差异或并未指明,所得结果不具有可比性,也很难应用于其他区域的生物结皮土壤水分研究。

水蚀风蚀交错区是黄土高原比较独特的自然地带,该地区气候变化剧烈,地形和产沙地层复杂,植被退化,加之人为不合理的开垦和放牧,造成了以水土流失和土地沙化为突出问题的脆弱生态与环境综合景观<sup>[12]</sup>。该区发育着大面积(盖度约为 70%~80%)以藻类和藓类植物为主要成分的生物结皮,显著影响着该区的土壤水文过程,但迄今有关该区的土壤水分研究很少涉及生物结皮的影响。为此,本文以位于典型水蚀风蚀交错区的六道沟小流域为代表,针对该区广泛发育的地表、地上两种类型生物结皮,各设 3 种非生物结皮对照(无结皮、物理结皮和去除生物结皮),使用盘式入渗仪测定其土

收稿日期:2006-11-13 修订日期:2007-09-26

基金项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划项目;国家自然科学基金青年基金(40401026,40301028);中国科学院“百人计划”项目

作者简介:肖 波(1981-),男,博士生,主要从事生物结皮生态功能及土壤系统中物质运移研究。杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所,712100。Email: xiaoboxb@gmail.com

壤饱和和导水率  $K_s$ ，以期揭示不同类型生物结皮形成后对土壤导水、入渗能力的影响，为进一步明确生物结皮在该区的生态功能以及水蚀风蚀交错区生物结皮的科学管理和生态与环境建设提供理论依据和技术支撑，同时在一定程度上为当前有关生物结皮影响土壤水分入渗方面所存在的分歧提供解释。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究主要在陕北神木县六道沟小流域(东经  $110^{\circ}21' \sim 110^{\circ}23'$ ，北纬  $38^{\circ}46' \sim 38^{\circ}51'$ ) 进行。该流域海拔  $1094.0 \sim 1273.9 \text{ m}^{[13]}$ ，既属于黄土高原向毛乌素沙漠过渡、森林草原向典型干旱草原过渡的过渡地带，又属于流水作用的黄土丘陵区向干燥剥蚀作用的鄂尔多斯高原过渡的水蚀风蚀交错带，是黄土高原水土流失最为严重的区域。该流域为典型的盖沙黄土丘陵区，属中温带半干旱气候，多年平均降雨量  $408.5 \text{ mm}$ ，降雨多集中在  $6 \sim 9$  月。整个流域分为东西两半，西部多为固定沙丘，以风沙土为主，占流域总面积的  $13.5\%$ ；东部则大部分为黄土覆盖，占流域总面积的  $86.5\%$ <sup>[14]</sup>。对六道沟流域的生物结皮分布状况进行系统调查后发现，该流域普遍发育有两种形态特征截然不同的生物结皮类型，按 Eldridge 和 Greene 的分类方法<sup>[15]</sup> 分别为地表生物结皮 (Perimorphs) 和地上生物结皮 (Hypermorphs) (图 1)。Eldridge 和 Greene<sup>[15]</sup> 按照生物结皮的生长状况将生物结皮分为 3 类，生长在地表以上的地上生物结皮、生长在地面的地表生物结皮和隐藏在地表以下的地下生物结皮 (Cryptomorphs)。

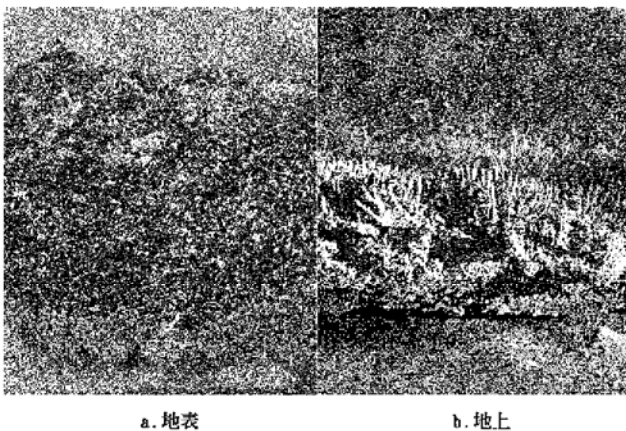


图 1 六道沟流域地表和地上两种类型生物结皮  
Fig. 1 Two types of BSC at soil surface and above soil surface in Liudaogou watershed

### 1.2 试验设计

对两种类型生物结皮分别选择典型样地(基本概况

见表 1)，在每个样地上选取 9 个生物结皮样点，同时各选取 9 个无结皮(无任何结皮)、物理结皮(结构结皮或沉降结皮<sup>[16]</sup>) 和去除生物结皮(去除生物结皮的表层结皮层) 对照样点，进行盘式入渗测定并推求  $K_s$ 。

表 1 两种生物结皮样地概况

测定指标	地表生物结皮样地	地上生物结皮样地
土壤质地	砂土	壤质砂土
土地利用	灌木林地	果园
坡度/(°)	5~10	0
主要植被	沙柳 ( <i>Salix Psammophila C.</i> <i>Wang et Chang Y. Yang</i> ) 沙蒿 ( <i>Artemisia ordosica Krasch.</i> )	杏树 ( <i>Prunus armeniaca</i> )
植被盖度* /%	30	70
生物结皮盖度* /%	95	80
生物结皮厚度* /mm	8~15	20~25

注：\* 样方法测定；\*\* 指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，是生物结皮层及生物结皮黏附土壤层的总厚度。

### 1.3 测定项目与方法

土壤基本物理性质测定均为常规法：剖面土壤容重 ( $0 \sim 50 \text{ cm}$ )，环刀法；生物结皮层容重，涂膜法<sup>[17]</sup>；土壤机械组成，马尔文 MS2000 激光粒度分析仪。

因盘式入渗仪具有便于携带、省时省水省力等优点，同时其入渗过程为非积水入渗，测得的土壤饱和和导水率  $K_s$  值与实际情况更为接近，故此已成为较为成熟的田间  $K_s$  原位测定方法。本文选用盘式入渗仪测定  $K_s$ 。

通过盘式入渗仪测定数据推求  $K_s$  (测定结果实际为土壤近饱和和导水率) 的方法较多，但都基于 Wooding 入渗方程

$$q_s = \pi R^2 K (h_f) + 4R\Phi(h_f) \quad (1)$$

式中  $q_s$ ——稳定入渗率， $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ； $R$ ——圆盘半径， $\text{cm}$ ； $K$ ——各负压下的土壤导水率； $h_f$ ——用水柱高度表示的负压， $\text{cm}$ ； $\Phi$ ——基质通量势。Logsdon 和 Jayne 将各种方法进行对比分析后认为单盘径多负压方法最为准确简便<sup>[18]</sup>，本文选取单盘径多负压方法推求  $K_s$ 。该方法通过测定多个负压以及各负压下的稳定入渗率进行非线性回归推求  $K_s$ ，其回归公式为

$$q_s(h_f)/\pi R^2 = K_s e^{-\alpha h_f} + 4K_s e^{-\alpha h_f}/(\pi R\alpha) \quad (2)$$

$$q_s = \pi r^2 h/t \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式得到

$$(r/R)^2 h/t = K_s e^{-\alpha h} + 4K_s e^{-\alpha h}/\pi R\alpha \quad (4)$$

式中  $K_s$ ——土壤饱和和导水率， $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ； $\alpha$ ——与土壤孔隙相关的无量纲常数； $r$ ——储水管半径， $\text{cm}$ ； $h$ ——入渗稳定后读数间隔时间内储水管中水位下降高度， $\text{cm}$ ； $t$ ——储水管水位读数间隔时间， $\text{h}$ ；其他符号

同公式(1)。

本试验所用盘式入渗仪的圆盘半径为 7.5 cm。选取 0、3、6 和 15 cm 水柱 4 个负压, 在各样点同一位置按负压由小到大依次进行入渗, 测定至入渗基本稳定为止, 时间约为 20 min。记录负压以及各负压下入渗稳定后储水管中水位单位时间的下降高度, 测定数据使用统计分析软件 DPS 7.05 根据公式(4) 进行非线性回归推求  $K_s$  和  $\alpha$ 。

### 1.4 数据处理

测定数据使用统计分析软件(SAS 8.1) 进行单因素方差分析(ANOVA), 并使用 LSD 法进行多重比较, 分析同一生物结皮样地的生物结皮与 3 种对照间  $K_s$  差异程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验样地土壤基本物理性质

土壤质地和容重能够显著影响土壤  $K_s$ , 并可直接导致生物结皮与无生物结皮土壤水分入渗能力的不同。将试验样地有、无生物结皮的浅层土壤机械组成和容重列于表 2。由表 2 可知, 有生物结皮发育的土壤表层(10 cm) 容重小于无生物结皮对照, 且黏粒和粉粒的体

积百分含量高于无生物结皮对照, 砂粒含量则相反。另外, 两种类型生物结皮的土壤机械组成和容重存在较大差异, 地表生物结皮着生土壤为砂土, 其砂粒含量较地上生物结皮土壤高 8% 左右, 但地表生物结皮的结皮层容重小于地上生物结皮, 这可能与生物结皮的厚度以及生物结皮所黏附的土壤多少有关。

### 2.2 地表生物结皮对 $K_s$ 的影响

土壤饱和导水率  $K_s$  是指土壤在饱和状态、即土壤孔隙全部充满水时的土壤导水速率, 其数值近似于土壤稳定入渗速率, 是表征土壤水分入渗能力的重要参数之一。地表生物结皮样地生物结皮和 3 种对照各样点  $K_s$ 、孔隙相关因子  $\alpha$  以及判定系数  $R^2$  列于表 3。由  $R^2$  数值可知, 非线性回归拟合效果很好, 结果可信。拟合参数  $\alpha$  值可表征土壤孔性,  $\alpha$  值大则土体的孔隙度高。生物结皮及 3 种对照的  $\alpha$  平均值由大到小依次为: 去除生物结皮(0.21) > 无结皮(0.19) > 生物结皮(0.18) > 物理结皮(0.16), 表明无论是生物结皮或物理结皮, 有结皮条件下的土壤孔隙度均低于无结皮, 且生物结皮对土壤孔隙的影响程度低于物理结皮, 即生物结皮的形成堵塞了土壤孔隙, 这与前人的研究结果类似<sup>[9]</sup>。

表 2 两种生物结皮样地的表层土壤机械组成(体积百分含量)和容重

Table 2 Mechanic composition(volume percent) and bulk density of BSC and CK in two plots

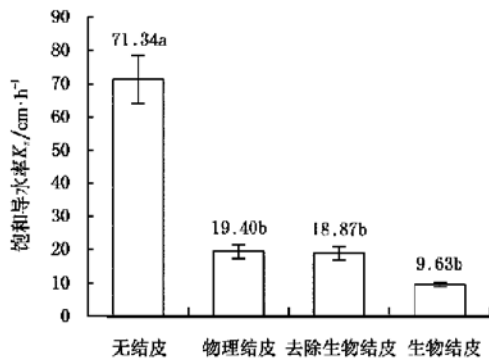
样地	粒级及容重	生物结皮				无生物结皮		
		结皮层	0~ 5 cm	5~ 10 cm	平均	0~ 5 cm	5~ 10 cm	平均
地表生物结皮样地	黏粒(< 0.002 mm)/%	0.20	0.32	0.18	0.23	0.16	0.12	0.17
	粉粒(0.002~ 0.02 mm)/%	5.00	4.50	3.45	4.32	3.69	2.58	3.53
	砂粒(0.02~ 2 mm)/%	94.80	95.18	96.38	95.46	96.15	97.3	96.30
	容重/ $g \cdot cm^{-3}$	1.37	1.76	1.77	1.63	1.76	1.74	1.71
地上生物结皮样地	黏粒(< 0.002 mm)/%	1.73	1.86	1.81	1.80	1.55	1.67	1.67
	粉粒(0.002~ 0.02 mm)/%	11.20	11.18	10.19	10.86	10.56	10.44	10.62
	砂粒(0.02~ 2 mm)/%	87.07	86.96	88.00	87.35	87.89	87.89	87.71
	容重/ $g \cdot cm^{-3}$	1.45	1.52	1.50	1.49	1.59	1.51	1.53

表 3 地表生物结皮样地 4 种处理  $K_s$  拟合结果

Table 3 Fitting results of  $K_s$  under four treatments on plots with perimorphs

	重复	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		$K_s/cm \cdot h^{-1}$	46.63	87.96	30.68	56.51	87.45	76.86	78.44	86.16
无结皮	$\alpha$	0.24	0.40	0.23	0.11	0.15	0.16	0.13	0.15	0.16
	$R^2$	0.95	0.99	0.97	0.88	0.95	0.95	0.80	0.99	0.98
	$K_s/cm \cdot h^{-1}$	14.44	22.01	32.32	19.01	25.74	12.76	15.69	16.94	15.68
物理结皮	$\alpha$	0.13	0.22	0.23	0.14	0.19	0.11	0.12	0.13	0.14
	$R^2$	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.99	0.95
	$K_s/cm \cdot h^{-1}$	15.39	24.46	15.91	23.36	30.02	14.34	9.31	17.75	19.30
去除生物结皮	$\alpha$	0.28	0.32	0.28	0.22	0.21	0.13	0.11	0.14	0.19
	$R^2$	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.92	0.99	1.00	0.96
	$K_s/cm \cdot h^{-1}$	8.90	9.12	14.45	9.70	7.65	8.67	11.04	8.78	8.33
生物结皮	$\alpha$	0.18	0.18	0.28	0.17	0.15	0.14	0.22	0.20	0.13
	$R^2$	0.93	0.97	0.99	0.96	0.94	0.96	0.98	0.94	0.99

为清晰描述生物结皮与3种对照间 $K_s$ 的差异,将其平均值及标准误差绘于图2。由图2可知,生物结皮 $K_s$ 最小,仅为无结皮流沙的1/7左右,这显然与地表生物结皮下层土壤质地有关。因为无结皮流沙地表干燥,大孔隙丰富,容易发生大孔隙流,具有非常高的入渗能力,生物结皮生长后可形成一层质密层,堵塞土壤大孔隙,最终阻碍土壤水分入渗,这与李新荣等人<sup>[20,21]</sup>在沙坡头地区的研究结果具有一致性。去除生物结皮的 $K_s$ 与物理结皮近似,数值在19.00 cm/h左右,约为生物结皮的2倍,且明显小于无结皮土壤。去除沙土上的生物结皮层后即相当于去除了沙土上部透水能力较差



注: a, b 为所处分组, 相同组间差异不显著, 不同组间差异显著, 显著水平  $\alpha = 0.01$  (ANOVA, LSD 法)

图2 地表生物结皮样地4种处理的 $K_s$ 差异

Fig. 2 Differences of  $K_s$  among four treatments on plots with perimorphs

的覆盖层,土壤导水能力明显提高,但仍显著低于无结皮土壤,这可能与生物结皮中微生物分泌的黏性多糖物质以及结皮生物假根系的作用有关。

方差分析表明地表生物结皮样地的生物结皮与3种对照间总体具有极显著差异(ANOVA,  $d_f = 3$ ,  $F = 51.72$ ,  $p < 0.01$ ),进一步的多重比较结果显示,生物结皮、去除生物结皮和物理结皮3种土壤间 $K_s$ 差异不显著( $p > 0.05$ , LSD法),但这3种土壤与无结皮间 $K_s$ 差异均达极显著水平( $p < 0.01$ , LSD法)(图2)。上述结果表明:与无结皮相比,地表生物结皮极显著的降低了 $K_s$ ,结皮生物可显著影响其下层土壤的导水能力;而与物理结皮和去除生物结皮相比较地表生物结皮则对 $K_s$ 无显著影响。

### 2.3 地上生物结皮对 $K_s$ 的影响

表4为地上生物结皮及其3种对照各样点的 $K_s$ 、孔隙相关因子 $\alpha$ 以及判定系数 $R^2$ 。与地表生物结皮样地的计算结果相似,生物结皮的 $\alpha$ (0.133)最大,其次为无结皮(0.130), $\alpha$ 值最小的为去除生物结皮(0.06)。地上生物结皮及3种对照间 $\alpha$ 大小关系表明,地上生物结皮的孔隙度与无结皮对照差异不大,而物理结皮与去除生物结皮的 $\alpha$ 值近似为0.09,表明二者孔隙度明显低于无结皮和生物结皮。去除生物结皮的孔隙度明显低于未去除生物结皮,这可能与地上结皮生物所分泌的化学物质对表层土体孔隙的影响有关,而且去除生物结皮过程中松动的细颗粒土壤在随后的入渗过程中有堵塞孔隙的可能。

表4 地上生物结皮样地4种处理 $K_s$ 拟合结果

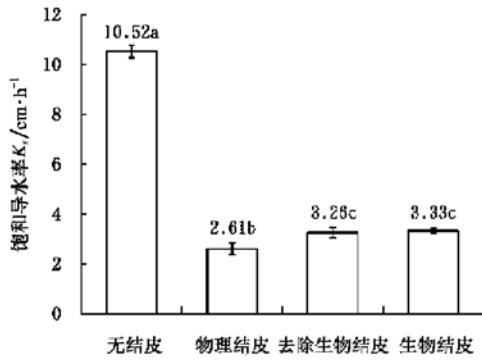
Table 4 Fitting results of  $K_s$  under four treatments on plots with hypermorphs

	重复	1	2	3	4	5	6	7	8	9
无结皮	$K_s/\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	9.43	10.56	10.07	11.25	11.10	11.34	10.29	11.19	9.49
	$\alpha$	0.12	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13	0.12
	$R^2$	0.88	0.93	0.85	0.92	0.95	0.93	0.92	0.96	0.91
物理结皮	$K_s/\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	1.07	2.22	2.87	2.66	2.40	2.52	3.14	3.25	3.33
	$\alpha$	0.04	0.07	0.09	0.09	0.07	0.08	0.11	0.12	0.11
	$R^2$	0.98	0.93	0.96	0.91	0.96	0.97	0.93	0.99	0.97
去除生物结皮	$K_s/\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	2.75	2.38	3.39	3.02	2.60	4.11	4.23	3.75	3.08
	$\alpha$	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08
	$R^2$	0.92	0.94	1.00	0.96	0.99	0.97	0.99	1.00	0.99
生物结皮	$K_s/\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	3.04	3.39	3.58	3.20	3.58	3.45	2.86	3.27	3.63
	$\alpha$	0.12	0.13	0.14	0.12	0.14	0.14	0.12	0.15	0.15
	$R^2$	0.95	0.98	0.99	0.91	0.96	0.99	0.92	0.99	1.00

将4种土表 $K_s$ 均值及标准误差绘于图3。可见,与地表生物结皮样地土表 $K_s$ 不同的是,地上结皮样地中物理结皮 $K_s$ 最小,约为无结皮土壤的1/4,且无结皮土壤的导水能力最高,而生物结皮和去除生物结皮的 $K_s$ 值相差很小,仅略大于物理结皮。

统计分析表明 $K_s$ 在生物结皮和3种对照间总体具有极显著差异(ANOVA,  $d_f = 3$ ,  $F = 326.31$ ,  $p < 0.01$ )。进一步的多重比较结果显示:生物结皮和去除生物结皮的 $K_s$ 无显著差异( $p > 0.05$ );其他组间差异显著( $p < 0.05$ );无结皮与其他3种的 $K_s$ 差异达极显著水

平( $p < 0.01$ )(图 3)。分析表明: 与无结皮相比较, 生长于壤质砂土的地上生物结皮对入渗能力的降低作用明显弱于物理结皮; 与地表生物结皮对浅层土壤导水能力的影响方式不同, 地上生物结皮通过自身生物结皮层及其下层理化性质已发生改变的土壤共同作用与土壤导水、入渗能力, 从而加大了地上生物结皮的影响深度。



注: a, b, c 为所处分组, 相同组间差异不显著, 不同组间差异显著, 显著水平  $\alpha = 0.01$ (ANOVA, LSD 法)

图 3 地上生物结皮样地 4 种处理  $K_s$  差异

Fig. 3 Differences of  $K_s$  among four treatments on plots with hypermorphs

### 3 结 论

1) 陕北水蚀风蚀交错区广泛分布的地表和地上两种生物结皮对土壤饱和和导水率均有明显的降低作用, 但与不同的非生物结皮对照相比较, 其降低程度有所不同。生物结皮对土壤饱和和导水率的降低意味着生物结皮发育后会降低土壤导水、入渗能力, 可能改变降雨活动中径流和入渗的分配比例, 使更多的降雨随径流流失, 从而减少土壤储水量, 显然这对干旱、半干旱地区土壤水分亏缺条件下的植被恢复和生态环境建设是不利的。但同时, 土壤饱和和导水率仅为表征土壤水分入渗的参数之一, 而降雨-入渗-产流过程极为复杂, 受众多因素影响, 因此在研究区具体的气候条件下(降雨集中且多为短时暴雨)生物结皮如何影响降雨-入渗-产流过程以及影响程度如何均需进一步的试验研究证实。

2) 本文针对两种生物结皮类型, 各选用无结皮、物理结皮和去除生物结皮 3 种非生物结皮类型为对照, 进行有、无生物结皮土壤饱和和导水率的测定分析, 消除了因对照不同而引起的试验结果的不统一。结果表明, 与无任何结皮的土壤相比, 生物结皮的形成可极显著降低土壤饱和和导水率, 但与物理结皮和去除生物结皮相比, 生物结皮对土壤饱和和导水率无显著影响。研究生物结皮对土壤水分入渗的影响时, 所得结论与所选对照有极大关系, 对照不同, 所得结论可能截然相反。这可在一定程

度上为当前有关生物结皮影响土壤水分入渗方面所存在的分歧提供解释。

### [参 考 文 献]

- [1] Harper K T, Marble J R. A role for nonvascular plants in management of arid and semiarid rangeland[A]. Tueller P T. Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management [C]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988: 135-169.
- [2] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions [J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.
- [3] Metha V B, Vaidya B S. Cellular and extracellular polysacchrides of the blue-green algae [J]. Journal of Experimental Botany, 1978, 29: 1423-1430.
- [4] 杨晓辉, 张克斌, 赵云杰. 生物土壤结皮-荒漠化地区研究的热点问题[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 474-480.
- [5] Loope W L, Gifford G F. Influence of a soil microfloral crust on selected properties of soils under pinyon-juniper in southeastern Utah [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1972, 27: 164-167.
- [6] Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology on a semiarid woodland soil[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1993, 7: 203-217.
- [7] Greene R S B, Chartres C J, Hodgkinson K C. The effects of fire on the soil in degraded semi-arid woodland. I. Cryptogam cover and physical and micromorphological properties[J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, 28: 755-777.
- [8] Graetz R D, Tongway D J. Influence of grazing management on vegetation, soil structure and nutrient distribution and the infiltration of applied rainfall in a semi-arid chenopod shrubland [J]. Australian Journal of Ecology, 1986, 11: 347-360.
- [9] 李守中, 肖洪浪, 宋耀选, 等. 腾格里沙漠人工固沙植被区土壤结皮对降水的拦截作用[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 612-616.
- [10] Williams J D, Dobrowolski J P, Gillette D A, et al. The role of microphytic crust on wind induce erosion [A]. Proc. 46th Annual Meeting Soc. Range Management [C]. Albuquerque. New Mexico, U. S. A. 1993.
- [11] Eldridge D J, Tozer M E, Slangen S. Soil hydrology is independent of microphytic crusts cover: further evidence from a wooded semiarid Australian rangelands [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1997, 11: 113-126.
- [12] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错带治理的重要性与紧迫性 [J]. 中国水土保持, 2000, 22(11): 11-12, 17.
- [13] 查 轩, 唐克丽. 水蚀风蚀交错带小流域生态环境综合治

- 理模式研究[J]. 自然资源学报, 2000, 15(1): 97– 100.
- [14] 贾恒义, 雍绍萍, 王富乾. 神木试区的土壤资源[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1993, 18: 36– 46.
- [15] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic crusts: a view of roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32: 389– 415.
- [16] Valentin C, Bresson L M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils [J]. Geoderma, 1992, 55: 225– 245.
- [17] 范文波, 李小娟. 涂膜法测定黄土结皮容重[J]. 山西水土保持科技, 2001, 3: 9– 10.
- [18] Logsdon S D, Jaynes D B. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers[J]. Soil Science Society of American Journal, 1993, 57: 1426– 1430.
- [19] Al-Qinna M I, Abu-Awwad A M. Infiltration rate measurements in arid soils with surface crust [J]. Irrigation Science, 1998, 18: 83– 89.
- [20] 李新荣, 贾玉奎, 龙利群, 等. 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, 21(1): 4– 11.
- [21] Li X R, Wang X P, Li T, et al. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificial stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China[J]. Biology & Fertility of Soils, 2002, 35: 147– 154.

## Effects of biological soil crust on saturated hydraulic conductivity in water–wind erosion crisscross region, North of Shaanxi Province, China

Xiao Bo<sup>1,2</sup>, Zhao Yunge<sup>1</sup>, Shao Ming'an<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Biological soil crust (BSC) develops extensively in water–wind erosion crisscross region on the Loess Plateau, northern Shaanxi Province of China. There are two types of BSC developing above soil surface (hypermorphs) and at soil surface (perimorphs) respectively in the region. The soil saturated hydraulic conductivity  $K_s$  of BSC and three types of control (no any crust, physical crust and removed BSC) were measured by tension infiltrometer to explore the effects of BSC on soil water infiltration and conductivity. The results show that, both two types of BSC decrease  $K_s$  remarkably compared with no crust, and the  $K_s$  between BSC and removed BSC has no significant differences. But compared with physical crust, the decrease of  $K_s$  by perimorphs is insignificant and hypermorphs is significant. It is indicated that both two types of BSC may hinder vegetation recovery and eco–environmental construction by increasing runoff and decreasing infiltration in rainfall. It is also included that the effects of BSC on soil saturated hydraulic conductivity are different compared with the different controls, which will explain the contradiction of results reported in past few years about the BSC's effects on soil water infiltration at some extent.

**Key words:** biological soil crust; soil saturated hydraulic conductivity; soil water infiltration; water–wind erosion crisscross region