

陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮 对土壤理化性质的影响

肖 波^{1,2}, 赵允格^{1,*}, 邵明安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,陕西杨凌 712100 ;

2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要 以黄土高原陕北水蚀风蚀交错区六道沟小流域为例,研究了该区以苔藓为主要成分的沙土和黄土两种生物结皮对土壤理化性质的影响。结果显示:(1)两种生物结皮均能显著增加土壤饱和含水量和田间持水量,降低容重和饱和导水率,其中沙土生物结皮还可明显黏化 0~25cm 土壤质地;(2)两种生物结皮均能不同程度的增加土壤全量养分、速效养分以及有机质含量,降低 pH 值,但其影响多数集中在表层或结皮层;(3)土壤化学性质中,全氮、速效磷和有机质受生物结皮影响程度较大,而全氮、速效钾和有机质受生物结皮影响土层较深;(4)沙土生物结皮对土壤理化性质的影响程度大于黄土生物结皮。两种类型生物结皮对所研究土壤理化性质的影响总体有利于该区生态环境的改善,且沙土生物结皮较黄土生物结皮具有更为重要的生态功能。

关键词 生物结皮 土壤理化性质 陕北水蚀风蚀交错区

文章编号 1000-0933 (2007)11-4662-09 **中图分类号** S153 ;S154.36 **文献标识码** A

Effects of biological soil crust on soil physicochemical properties in water-wind erosion crisscross region, northern Shaanxi Province, China

XIAO Bo^{1,2}, ZHAO Yun-Ge^{1,*}, SHAO Ming-An¹

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 A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11) 4662~4670.

Abstract : Biological soil crust (BSC) develops extensively in water-wind erosion crisscross region of the Loess Plateau, northern Shaanxi Province of China. We compared the effects of two types of BSC on soil physicochemical properties in Liudaogou watershed in the region. The two types of BSC, one developing on sand soil and another on loess soil, are moss dominated with main species of *Bryum arcticum* (R. Brown) B. S. G. and *Barbula vinealis* Brid. The results show that : (1) Both types of BSC increase saturated soil water content and field capacity, decrease bulk density and saturated hydraulic conductivity. BSC on sand soil can increase soil clay content in 0—25 cm layers ; (2) Both types of BSC increase total N, total P, available N, available P, available K and organic matter, and decrease pH value, although most of these effects are observed in surface soil only ; (3) Compared with other soil chemical properties, BSC have greater effects on soil total N,

基金项目 中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目 国家自然科学基金青年基金资助项目 (40401026,40301028)

收稿日期 2007-04-27 ; **修订日期** 2007-09-06

作者简介 肖波 (1981~),男,陕西人,博士生,主要从事土壤系统中物质运移研究. E-mail : xiaoboxb@gmail.com

* **通讯作者** Corresponding author. Email : zyunge@ms.iswc.ac.cn

Foundation item : The project was financially supported by West Light Foundation of Chinese Academy of Sciences and National Natural Science Foundation of China (No. 40401026, 40301028)

Received date 2007-04-27 ; **Accepted date** 2007-09-06

Biography XIAO Bo, Ph. D. candidate, mainly engaged in material transport in soil system. E-mail : xiaoboxb@gmail.com

available P and organic matter, and deeper effects on total N, available K and organic matter in soil profile ; 4) BSC on sand soil have greater effects on soil physicochemical properties than BSC on loess soil. As a whole, both types of BSC are beneficial for ecological construction in the research region, although the ecological function of BSC developing on sand soil maybe more important than BSC on loess soil.

Key Words : biological soil crust ; soil physicochemical properties ; water-wind erosion crisscross region

生物结皮^[1,2] (Biological Soil Crust, BSC) 具有重要的生态功能,其物理、化学以及生物作用可使表层土壤的理化性质发生明显改变,在荒漠化地区植被恢复和生态环境建设中具有极其重要的作用。

表层土壤理化性质的改变是生物结皮生态功能的基础,国内外对此进行了较多的研究,其中对土壤化学性质的影响是研究的重点。国外较早发现生物结皮中某些生物组分具有固氮作用^[3],可显著改变结皮层土壤的氮素水平;Beymer 和 Klopatek 证实生物结皮中的微生物能够进行光合作用固定有机碳^[4];崔燕等发现鄂尔多斯沙地生物结皮中粉粒和粘粒含量、有机质、全量以及速效养分含量均高于流沙,并与生物结皮厚度呈正相关关系^[5]。张元明等在新疆古尔班通古特沙漠以流沙为对照发现生物结皮可明显增加表层 5cm 土壤的有机质含量^[6]。除此以外,在甘肃省民勤沙区^[7]、腾格里沙漠沙坡头地区^[8]和新疆古尔班通古特沙漠^[9]进行的研究均得出相似的结论。分析发现,以上研究大多仅针对某个或某些理化性质而缺乏研究的系统性和全面性,而且均集中在沙漠区进行,对生物结皮广泛发育的非沙漠地区(如黄土高原区)少有涉及,非沙漠地区生物结皮如何影响土壤理化性质及其与沙漠地区有何不同尚需进一步研究。

黄土高原陕北水蚀风蚀交错区自然条件恶劣,植被退化严重。调查发现,该区沙土和黄土上均有大面积(盖度 70% ~ 80%)的生物结皮发育,但该区两种生物结皮对土壤理化性质有何影响以及二者之间有何差异,其生态功能以及在生态系统中有何作用均不明确。为此,本文以位于典型水蚀风蚀交错区的六道沟小流域为研究区,研究沙土和黄土两种生物结皮对土壤理化性质的影响以及二者之间的差异,以明确两种生物结皮的生态功能以及在生态系统中的重要作用,其结论可为研究区生物结皮的科学管理和利用生物结皮进行荒漠区生态环境治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为黄土高原荒漠化地区陕北神木县境内六道沟小流域,范围为东经 110°21' ~ 110°23',北纬 38°46' ~ 38°51',面积 6.89km²。该流域海拔 1094.0 ~ 1273.9m^[10],地处晋陕蒙接壤区,地理位置上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。六道沟流域地形特点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 408.5mm,其中 6 ~ 9 月份降水量占全年的 80.93%且多为大暴雨^[11],是典型的水蚀风蚀脆弱生态区。整个流域分为东西两半,西边多为固定沙丘,以风沙土为主,占流域总面积的 13.5%;东边则大部分为黄土覆盖,占流域总面积的 86.5%^[12]。

在 20 世纪 90 年代初的相关资料中已提及该区固定沙丘上有生物结皮生长发育^[12],但其具体分布状况

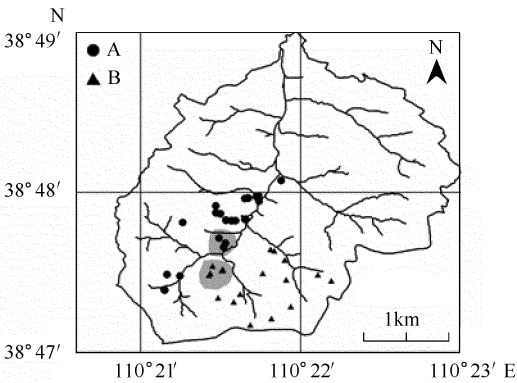


图 1 生物结皮调查样点分布图 (阴影为主要试验区)
Fig. 1 Distribution of investigation site in Liudaogou watershed (shadow is the main experimental area)
A 沙土 Sand soil, B 黄土 Loess soil

一直不明,为此,本试验对该流域生物结皮分布状况进行了调查,共调查 47 个样点 (图 1)。发现在该流域非耕作土壤上均有不同程度的生物结皮发育,主要成分均为苔藓,以极地真藓 (*Bryum arcticum* R. Brown) B. S. G.) 和土生扭口藓 (*Barbula vinealis* Brid) 为优势种,其中在灌木林地和天然草地发育最好,盖度可达 50% ~ 90%。不同类型土壤上发育的生物结皮形态特征具有较大差异 (图 2),依所发育土壤类型的不同分别将其称为沙土生物结皮和黄土生物结皮,沙土生物结皮发育状况总体好于黄土生物结皮。

1.2 试验设计及统计分析

在野外调查基础上,选择典型试验区 (图 1 阴影区,基本情况见表 1),对两种生物结皮进行原位测定并采样进行室内分析。试验设生物结皮处理组 (BSC) 和无结皮对照组 (K),重复数随测定项目不同而不等 (机械组成无重复,饱和导水率 9 重复,饱和含水量、田间持水量和容重均 10 重复,其它土壤化学性质 3 重复),测定结果使用 *t* 检验 (*t* test, SAS 8.1) 分析处理组和对照组之间的差异程度。

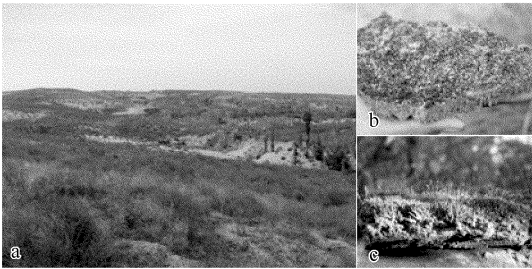


图 2 流域景观及两种生物结皮

Fig. 2 Overview of research area and two types of BSC
a. 整体景观 Overview b. 沙土生物结皮 BSC on sand soil c. 黄土生物结皮 BSC on loess soil

表 1 试验区基本情况

Table 1 Characteristics of experimental area

测定指标 Measured index	沙土生物结皮 BSC on sand soil	黄土生物结皮 BSC on loess soil
土壤质地 Soil texture	砂土 Sandy soil	砂质壤土 Sandy loam soil
土地利用 Land use	灌木林地 Shrubland	草地 Grassland
坡度 Gradient (°)	5 ~ 10	20 ~ 25
植被 Vegetation	沙柳 <i>Salix psammophila</i> C. Wang et Chang Y. Yang, 沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i> Krasch	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>
植被盖度 Vegetation coverage (%)	30	90
生物结皮盖度 BSC coverage (%)	95	50
生物结皮厚度 BSC thickness (mm)	17.46 ± 0.46 (N = 20)	24.23 ± 0.96 (N = 20)

盖度使用样方法测定 The coverage of vegetation and BSC was measured by Quadrat method; 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;下同 The BSC thickness include BSC layer and the soil adhered to BSC; the same below

1.3 测定项目与方法

(一) 土壤物理性质 土壤机械组成,马尔文 MS2000 激光粒度分析仪;土壤饱和导水率 (K_s),盘式入渗仪——单盘径多负压法^[3],饱和含水量 (θ_s)和田间持水量 (质量含水量),重量法;土壤容重,生物结皮层为涂膜法,其它为环刀法。

(二) 土壤化学性质测定 所用土样的采集时间为 2005 年 6 月,分结皮层、0 ~ 2cm、2 ~ 5cm 和 5 ~ 10cm 4 层分层采样。测定方法为:全氮 (TN),开氏法;碱解氮 (AN),碱解扩散法;全磷 (TP),酸溶-钼锑抗比色法;速效磷 (AP),碳酸氢钠浸提法;速效钾 (AK),原子吸收法;有机质 (OM),重铬酸钾氧化法;pH 值,电极法。

2 结果分析

2.1 生物结皮对土壤物理性质的影响

2.1.1 机械组成

机械组成是土壤分类的基本依据,对土壤孔隙度、容重、含水率、渗透率、粘结性等有直接影响。0 ~ 50cm 土壤机械组成分层测定结果 (表 2) 显示,沙土生物结皮的粘粒和粉粒含量在结皮层和 0 ~ 5cm 以及 5 ~ 25cm 均明显高于无结皮,在 25 ~ 50cm 则基本近似,而黄土生物结皮在所有土层均与无结皮近似。表明沙土生物结皮具有一定的成土作用,其物理、化学以及生物过程粘化了结皮层以及 0 ~ 25cm 土层土壤质地,明显增加

了该土层的粘粒和粉粒含量,但黄土生物结皮对土壤机械组成并无明显影响。

表2 生物结皮与无结皮土壤剖面机械组成
Table 2 Soil mechanic composition in profile with and without BSC

结皮类型 BSC type	土壤深度 Soil depth (m)	生物结皮 BSC			无结皮 CK		
		粘粒 Clay (%)	粉粒 Silt (%)	砂粒 Sand (%)	粘粒 Clay (%)	粉粒 Silt (%)	砂粒 Sand (%)
沙土生物结皮	L _{BSC}	0.19	5.00	94.80	0.12	1.79	98.09
BSC on sand soil	0 ~ 2	0.34	4.95	94.71	0.16	2.01	97.83
	2 ~ 5	0.30	4.04	95.66	0.08	1.79	98.13
	5 ~ 10	0.18	3.45	96.37	0.09	1.91	98.00
	10 ~ 25	0.14	2.58	97.28	0.06	1.79	98.15
	25 ~ 50	0.01	1.49	98.50	0.01	1.46	98.53
黄土生物结皮	L _{BSC}	11.73	16.20	72.07	11.73	15.69	72.58
BSC on loess soil	0 ~ 2	11.83	16.32	71.85	11.77	16.13	72.10
	2 ~ 5	11.88	16.04	72.08	12.17	15.79	72.04
	5 ~ 10	11.81	15.19	73.00	11.56	15.49	72.95
	10 ~ 25	12.11	16.94	70.95	11.95	16.33	71.72
	25 ~ 50	11.77	16.69	71.54	11.59	16.72	71.69

土壤质地分类使用国际制,即粘粒 < 0.002mm,粉粒为 0.002 ~ 0.02mm,砂粒为 0.02 ~ 2mm The classification of soil texture is based on international system (clay < 0.002mm, 0.002mm < silt < 0.02mm, 0.02mm < sand < 2mm) 1_{BSC} 生物结皮层,下同 BSC layer and the same below

相关研究认为,除生物结皮本身具有一定程度的成土作用外,生物结皮吸附大量降尘也是其影响土壤机械组成的一个重要原因^[4],这符合研究区 4 ~ 5 月份均有强沙尘暴天气这一事实。即便如此,生物结皮对土壤机械组成的影响应集中于结皮层或表层,但本试验结果显示沙土生物结皮对土壤机械组成的作用深度可延伸至地表以下 25cm,这可能与降雨过程中水分下渗使土壤颗粒向下发生位移有关。

2.1.2 K_s 、容重、 θ_s 及田间持水量

沙土和黄土生物结皮的 K_s 和容重均低于无结皮,其中 K_s 分别较无结皮降低 86.5% 和 68.3%,土壤容重分别减小 20.3% 和 17.9% (图 3),表明两种生物结皮均可降低土壤 K_s 、容重以及导水能力;与此相反,沙土和黄土生物结皮的 θ_s 和田间持水量均高于无结皮,其中 θ_s 分别为无结皮的 1.26 倍和 1.20 倍,田间持水量均为无结皮的 1.22 倍,表明生物结皮可增加表层土壤的饱和含水量和田间持水量,提高其持水能力。

进一步的统计分析结果(检验,表 3)显示,两种生物结皮处理组和对照组之间所研究土壤物理性质的差异均有统计学意义,其中除沙土生物结皮处理组与对照组之间 θ_s 差异达显著水平 ($p < 0.05$) 外,其它均达到极显著水平 ($p < 0.01$),表明两种生物结皮对所研究土壤物理性质均有显著影响,其中绝大多数为极显著影响。

表3 生物结皮和无结皮土壤物理性质 t 检验结果
Table 3 Differences of soil physical properties between BSC and CK using t -test

参数 Parameter	沙土 Sandy soil					黄土 Loess soil				
	生物结皮 BSC		无结皮 CK		t -test	生物结皮 BSC		无结皮 CK		t -test
	Mean	S. E.	Mean	S. E.		Mean	S. E.	Mean	S. E.	
土壤容重										
Bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.37	0.03	1.72	0.02	-10.26 **	1.24	0.02	1.51	0.02	-8.86 **
K_s ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	0.27	0.01	0.21	0.01	4.77 **	0.34	0.01	0.28	0.01	3.97 **
θ_s (%)	0.15	0.01	0.13	0.00	2.86 *	0.30	0.02	0.24	0.0	2.91 **
田间持水量										
Field capacity (%)	9.63	0.68	71.34	7.19	-8.55 **	3.33	0.09	10.52	0.25	-27.14 **

* $p < 0.05$, 差异显著 significant at 0.05 level; * * $p < 0.01$, 差异极显著 significant at 0.01 level ;下同 the same below

相关研究认为藓类植物的饱和含水量为其本身干重的 7.47 ~ 8.12 倍,具有很高的吸水、持水能力^[5],但本研究结果显示二者在沙土、黄土两种土壤条件下均仅为无结皮的 1.2 倍左右,这可能与本试验将生物结皮

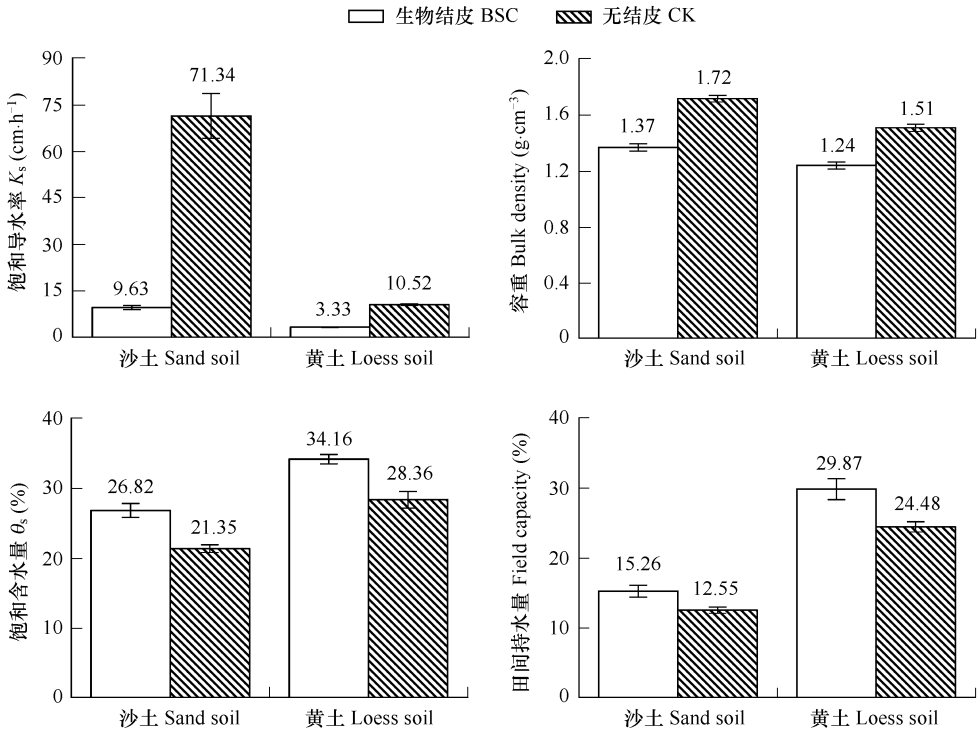


图 3 两种生物结皮对 K_s 、容重、 θ_s 及田间持水量的影响

Fig. 3 Two types of BSC 's effects on K_s , bulk density, θ_s and field capacity

与其所自然黏附土层整体视为结皮层有关,这一原因还直接导致本试验所测得生物结皮 K_s 偏小而容重偏大。

2.2 生物结皮对土壤化学性质的影响

2.2.1 全氮和全磷

由图 4 可知：() 沙土和黄土生物结皮 4 个土层的平均全氮含量分别为无结皮的 9.61 倍和 2.43 倍,全磷分别为无结皮的 1.81 倍和 1.74 倍,表明两种生物结皮均能增加土壤全氮和全磷,且对全氮的影响程度大于全磷。另外,沙土生物结皮对土壤全氮、全磷的影响较黄土生物结皮更为明显；() 两种生物结皮的表层全氮、全磷含量高于深层,随土壤深度增加迅速降低,而无结皮随土壤深度无明显变化,表明生物结皮对土壤全氮、全磷的影响主要集中在表层,对较深层土壤的影响要小得多；() 不论是否有生物结皮,黄土的全氮和全磷含量均明显高于沙土,这符合粘质土壤养分含量高于砂质土壤的普遍规律,但无生物结皮发育时二者差异更为明显,表明生物结皮掩盖或减小了沙土与黄土之间的土壤养分差异。

t 检验结果显示,沙土生物结皮对 4 个土层全氮含量均有显著增加,而黄土生物结皮仅对结皮层全氮含量有显著增加,两种生物结皮都只显著增加了结皮层和 0 ~ 2cm 土层的全磷含量,表明沙土生物结皮对全氮的影响深度要深于黄土生物结皮,对全磷的影响深度二者一致。受生物结皮显著影响的土层中,沙土生物结皮的全氮、全磷含量分别为无结皮的 9.61 倍和 2.21 倍,黄土生物结皮分别为 3.36 倍和 1.76 倍,再次证明生物结皮对全氮的影响大于全磷。

2.2.2 碱解氮、速效磷和速效钾

两种生物结皮对土壤速效养分的影响 (图 5) 与全量养分基本相似。两种生物结皮的速效养分含量表层高于深层,具有明显的表聚特征。无论是否有生物结皮,黄土的速效养分含量普遍高于沙土。与无结皮相比,两种生物结皮的速效养分含量均有增加,但沙土生物结皮的增加程度明显大于黄土生物结皮。

t 检验结果显示,两种生物结皮与无结皮的碱解氮和速效磷含量仅在结皮层存在显著差异,而沙土生物结皮与无结皮的速效钾含量在所有土层均存在显著差异,黄土生物结皮与无结皮的速效钾含量只在结皮层和

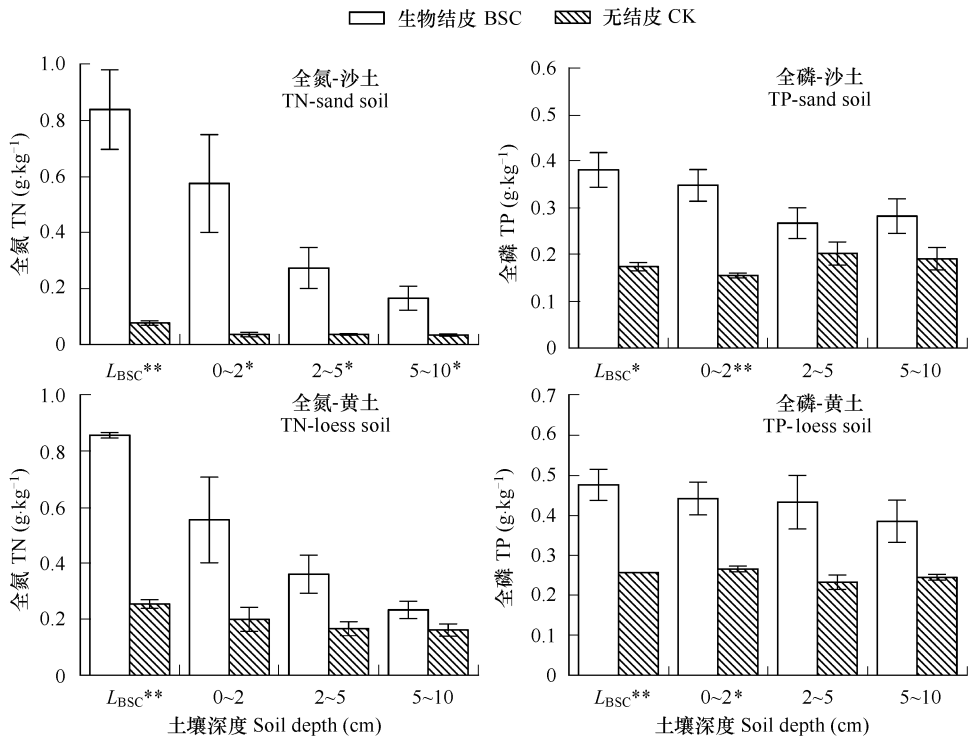


图4 两种生物结皮对土壤全氮、全磷的影响

Fig. 4 Two types of BSC's effects on soil TN, TP

0~2cm 土层有显著差异。表明生物结皮对速效钾的作用深度要深于碱解氮和速效磷。就影响程度而言,受生物结皮显著影响的土层中,沙土生物结皮的碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为无结皮的 2.91、8.31 倍和 3.45 倍,黄土生物结皮则分别为 2.78、5.98 倍和 1.92 倍,表明沙土生物结皮的土壤速效磷含量受生物结皮影响最为强烈,速效钾次之,碱解氮最低,而黄土生物结皮则为速效磷最强,碱解氮次之,速效钾最低。

2.2.3 有机质和 pH 值

两种类型生物结皮对土壤有机质和 pH 值的影响见图 6。沙土生物结皮在所有土层均显著增加了土壤有机质含量,而黄土生物结皮仅在结皮层对有机质含量有显著增加,即两种生物结皮对有机质的影响深度差异较大,受生物结皮显著影响的土层中沙土生物结皮的有机质含量为无结皮的 6.45 倍,黄土生物结皮为 6.13 倍,显示两种生物结皮对土壤有机质的影响程度近似。

生物结皮和无结皮土壤 pH 值均大于 7,且 pH 值表层较低并随土壤深度增加而逐渐升高,显示该区土壤普遍呈碱性环境。无生物结皮时两种土壤 pH 值近似,但有生物结皮时黄土生物结皮的 pH 值总体低于沙土生物结皮,表明沙土生物结皮对 pH 值的影响程度略高于黄土生物结皮。与无结皮相比,生物结皮普遍降低了土壤 pH 值,但表层降低程度大于深层。pH 值的降低能够提高土壤养分的有效性使其更易于被吸收和利用,有利于该区植被的恢复。

综上所述,沙土生物结皮对土壤化学性质的影响程度依次为,全氮 (6.61 倍,所有土层) > 速效磷 (8.31 倍,结皮层) > 有机质 (6.45 倍,所有土层) > 速效钾 (3.45 倍,所有土层) > 碱解氮 (2.91 倍,结皮层) > 全磷 (2.91 倍,结皮层和 0~2cm),黄土生物结皮则依次为:有机质 (6.13 倍,结皮层) > 速效磷 (5.98 倍,结皮层) > 全氮 (3.36 倍,结皮层) > 碱解氮 (2.78 倍,结皮层) > 速效钾 (1.92 倍,结皮层和 0~2cm) > 全磷 (1.76 倍,结皮层和 0~2cm)。归纳可知: (1) 所研究土壤化学性质中,全氮、速效磷和有机质受生物结皮影响程度较大; (2) 沙土生物结皮对土壤化学性质的影响程度均大于黄土生物结皮; (3) 沙土生物结皮对土壤化学性质的影响深度总体深于黄土生物结皮; (4) 生物结皮对土壤化学性质的影响程度和影响深度之间并无明显相

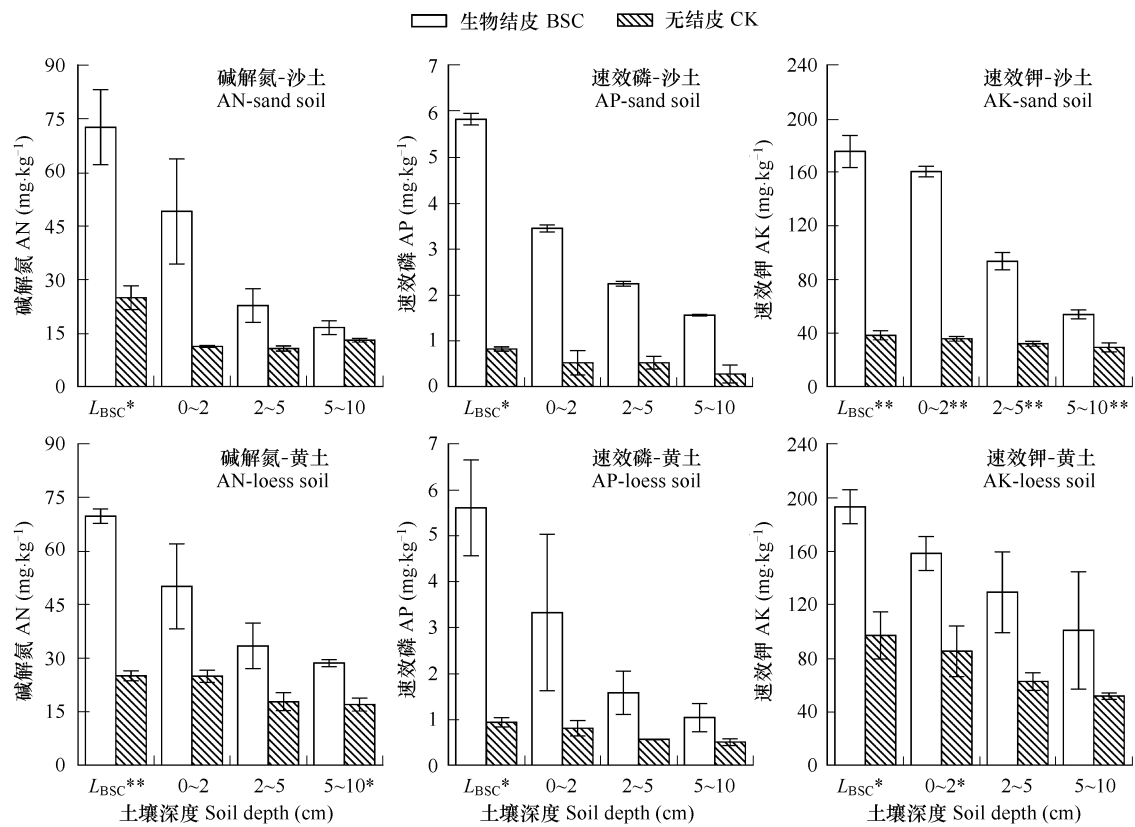


图5 两种生物结皮对土壤碱解氮、速效磷和速效钾的影响

Fig. 5 Two types of BSC's effects on AN, AP, and AK

关性。

生物结皮对土壤物理性质的影响可在一定程度上作用于土壤化学性质,如土壤质地粘化可增加土壤养分的吸附并避免其流失从而改善土壤养分状况,但这一途径作用程度有限,生物结皮对土壤氮素、碳素的增加应主要归功于其生物组分的固氮、固碳作用。研究表明生物结皮的固氮能力高达 $2 \sim 41 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [1],固碳能力更高,因此生物结皮可明显增加土壤全氮、有机质以及碱解氮含量,但目前尚无确切证据表明生物结皮对土壤全磷、速效磷、速效钾以及 pH 的作用机理。

3 结论

两种生物结皮均能粘化土壤、增加土壤持水能力、降低容重和导水能力,增加全量和速效养分以及有机质含量,降低 pH 值,沙土生物结皮对土壤理化性质的影响程度大于黄土生物结皮,沙土生物结皮对土壤化学性质的影响深度总体深于黄土生物结皮,其中黄土生物结皮对土壤化学性质的影响多数仅集中在结皮层;土壤化学性质中,全氮、速效磷和有机质受生物结皮影响程度较大,而全氮、有机质和速效钾受生物结皮影响较深。

两种生物结皮发育后均可降低土壤导水能力(饱和导水率),减少雨水入渗,而且生物结皮较高的持水和保水能力(田间持水量和饱和含水量)致使更多的雨水滞留在土壤表层,并在雨后迅速蒸发。正是基于以上原因,有研究者担心生物结皮发育后可能会减少深层土壤储水量,致使深根系植物逐渐缺水死亡,造成生态环境的恶化且不可逆转,但这一假设尚无试验数据证实。因此,需专门针对生物结皮的水文功能进行研究,以明确在研究区特定的气候条件(主要是降雨特征)下生物结皮影响土壤水文过程的机理以及影响程度。除此以外,两种生物结皮对土壤理化性质的影响均向有利方向发展,尤其是生物结皮对土壤化学性质的改善对生态环境建设有重要意义。由此可以确定,两种生物结皮在研究区生态系统中均具有重要作用,且沙土生物结皮较黄土生物结皮具有更为重要的生态功能,这一结论可为研究区生物结皮的科学管理以及利用生物结皮进行

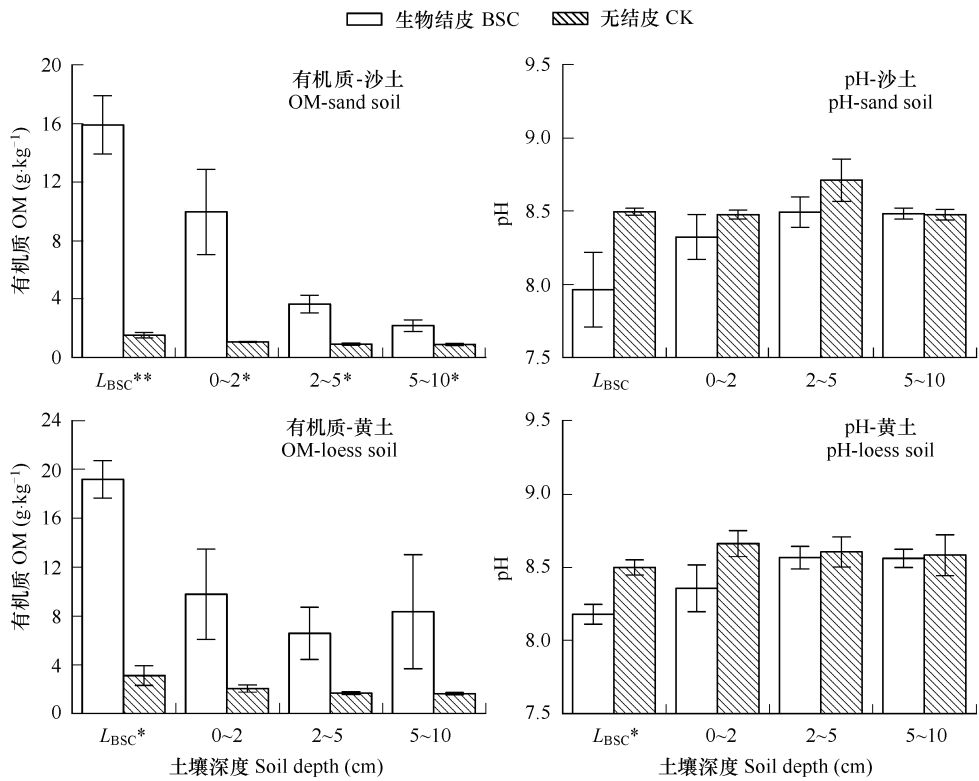


图6 两种类型生物结皮对土壤有机质和 pH 值的影响

Fig.6 Two types of BSC 's effects on organic matter and pH value

生态环境建设提供理论依据。

References :

[1] Harper K T, Marble J R. A role for nonvascular plants in management of arid and semiarid rangeland. In :Tueller P T, ed. Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management. 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. Advances in Ecological Research, 1990, 20 :179 – 223.

[3] Rogers R W, Lange R T, Nicholas D J D. Nitrogen fixation by lichens of arid zone crusts. Nature, 1966, 209 :96 – 97.

[4] Beymer R J, Klopatek J M. Potential contribution of carbon by microphytic crusts in Pinyon- Juniper woodlands. Arid soil Res. Rehab. , 1991, 5 : 187 – 198.

[5] Cui Y, Lü Y Z, Li B G. Physico-chemical properties of soil microbiotic crusts on erdes plateau. Soils, 2004, 36 (1) :197 – 202.

[6] Zhang Y M, Yang W K, Wang X Q, et al. Influence of cryptogamic soil crusts on accumulation of soil organic matter in Gurbantunggut desert, northern Xinjiang, China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (2) :3420 – 3425.

[7] Jia B Q, Zhang H Q, Zhang Z Q, et al. The study on the physical and chemical characteristics of sand soil crust in the Minqin county, Gansu Province. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23 (1) :1442 – 1448.

[8] Li X R, Xiao H L, Liu L C, et al. Long-term effects of sand-binding vegetation on the restoration of biodiversity in Shapotou region of Tengger desert, northern China. Journal of Desert Research, 2005, 25 (1) :173 – 181.

[9] Li W H, Ren T R, Zhou Z B, et al. Study on the soil physicochemical characteristics of biological crusts on sand-dune surface in Gurbantunggut desert, Xinjiang region. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27 (4) :619 – 626.

[10] Tang K L. Importance and urgency of harnessing the interlocked area with both water and wind erosion in the loess plateau. Soil and Water Conservation in China, 2000, 224 (1) :11 – 12,17.

[1] Cha X, Tang K L. Study on comprehensive control model of small watershed eco environment in water and wind crisscrossed erosion zone. *Journal of Natural Resources*, 2000,15 (1) 97—100.

[2] Jia H Y, Yong S P, Wang F Q. The soil resources of Shenmu experimental site. *Collected papers of The Institute of Northwest Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences*, 1993, 18 36—46.

[3] Logsdon S D, Jaynes D B. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers. *Soil Science Society of American Journal*, 1993, 57 1426—1430.

[4] Fang H Y, Qu J J, Zu R P, *et al.* Research on effect of sand prevention and control engineering on formation of physical crust. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19 (1) 17—20.

[5] Xu J, Bai X L, Yang C, *et al.* Study on diversity and binding-sand effect of moss on biotic crusts of fixed dunes. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, 27 (4) 545—551.

参考文献：

[5] 崔燕,吕贻忠,李保国. 鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质. *土壤*,2004,36 (1) 197~202.

[6] 张元明,杨维康,王雪芹,等. 生物结皮影响下的土壤有机质分异特征. *生态学报*,2005,25 (2) 3420~3425.

[7] 贾宝全,张红旗,张志强,等. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究. *生态学报*,2003,23 (1) 1442~1448.

[8] 李新荣,肖洪浪,刘立超,等. 腾格里沙漠沙坡头地区固沙植被对生物多样性恢复的长期影响. *中国沙漠*,2005,25 (1) 173~181.

[9] 李卫红,任天瑞,周智彬,等. 新疆古尔班通古特沙漠生物结皮的土壤理化性质分析. *冰川冻土*,2005,27 (4) 619~626.

[0] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错带治理的重要性与紧迫性. *中国水土保持*,2000,224 (1) 11~12,17.

[1] 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. *自然资源学报*,2000,15 (1) 97~100.

[2] 贾恒义,雍绍萍,王富乾. 神木试区的土壤资源. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*,1993,18 36~46.

[4] 方海燕,屈建军,俎瑞平,等. 防沙工程的结皮效应研究. *水土保持学报*,2005,19 (1) 17~20.

[5] 徐杰,白学良,杨持,等. 固定沙丘结皮层藓类植物多样性及固沙作用研究. *植物生态学报*,2003,27 (4) 545~551.