

封育草地土壤生物结皮对水分入渗与植物多样性的影响

杨秀莲, 张克斌*, 曹永翔

北京林业大学水土保持学院//水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083

摘要: 盐池县柳杨堡乡从 2000 年开始采取封育措施, 长期的无人为干扰使封育区内产生土壤生物结皮, 结皮对水分有一定影响, 进而影响封育区植被的恢复。采用双环入渗法分析生物结皮对土壤水分的影响, 并通过对人工封育区内的植被调查测定去除土壤结皮前后的植物多样性变化。结果表明: 有生物结皮覆盖的土壤入渗曲线的最高峰比无生物结皮覆盖的低约 5 cm, 有生物结皮覆盖的土壤初始入渗速率为 $0.8 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, 而无生物结皮覆盖的土壤初始入渗速率为 $2.6 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, 随着封育年限的增加, 土壤生物结皮的覆盖面积及厚度逐年增加, 结构也更紧密, 影响土壤的水分入渗, 不利于植被的生长, 而通过对封育区内新翻耕土层和未翻耕的土层的植物多样性比较, 新翻耕的土层中的植物多样性指数明显高于未翻耕土层。因此对封育区内采取适度翻耕, 能够减少生物结皮对土壤水分入渗的负面影响, 能够更有效的利用降水, 促进植被恢复。

关键词: 土壤生物结皮, 水分入渗, 植物多样性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0853-04

土壤生物结皮是微生物、藻类、地衣、苔藓植物类群与土壤共同形成的有机复合体^[1], 土壤生物结皮的出现是固定沙丘形成的重要标志, 其预示着荒漠化生境的转变, 有效地阻止了流沙的移动, 同时也对以后的植被演替进程起到了积极的作用, 因此, 如何合理利用这一资源对荒漠化地区生态环境的恢复与重建具有重要的意义。

国内外对生物结皮对土壤养分、水分及结皮对地表的稳定作用都有研究, 生物土壤结皮能保持土壤湿度并限制一年生草本植物的生长, 并可以减少风蚀和水蚀, 固定大气中的 N 并增加土壤的有机质^[2]; 生物结皮能通过截获来自大气和降雨的养分颗粒而创造养分富集的微生境, 增加土壤中的 C、N、P 的含量^[3]; 许多学者认为生物结皮对水分的入渗和蒸发有影响, 有利于沙地植被的恢复^[4-12]。而 Graetz 和 Tongway^[13]则在澳大利亚新南威尔士州的研究中发现, 在沙质土壤上移掉微生物结皮后, 入渗能力比移掉前提高了 3 倍, 张克斌等^[14]也证明在北方半干旱区生物结皮对植物生长存在先促进、后抑制的过程, 随着外界环境的改善, 生物结皮与周围植物之间开始出现相互抑制的趋势, 当环境条件变得适合植物生长时, 植被开始大量繁衍, 并与生物结皮争水争肥且互相争夺生存空间。

盐池县境内多围封禁牧区, 长时期的围封及少人为干扰导致土壤表层产生大量的生物结皮, 本文通过对宁夏盐池县封育区内的植被及土壤进行调查, 分析盐池县人工封育区内的土壤生物结皮对植被、水分的影响, 旨在为生态修复工程提供依据。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部, $37^{\circ}04' \sim 38^{\circ}10' \text{ N}$ 和 $106^{\circ}30' \sim 107^{\circ}41' \text{ E}$ 之间, 年平均降水 250 ~ 350 mm, 从南向北, 从东南向西北递减。在降水时间的分配上, 80%以上的降水量分布于 5—9 月, 其中 7—9 三个月又占年降雨的 60%以上。春季降水偏少 (占年降水的 10%~15%), 年平均蒸发量为 2 180 mm。风对盐池县的自然环境的影响十分明显, 是荒漠化的主要成因之一, 全年主风向为干燥的西风和西北风, 年平均风速北部为 $2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 南部为 $4.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 大风 (风速大于 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 日数, 北部 24.2 d, 南部 45.8 d, 主要发生在春季。土壤结构松散, 肥力较低, 含沙量大, 易受风蚀而沙化。本文选择从 2000 年底开始封育的柳杨堡人工封育示范区, 植被类型以干草原、草甸植被为主, 群落中常见植物种类为旱生和中旱生植物, 其中菊科 (*Compositae*) 和豆科 (*Leguminosae* sp.) 植物占多数, 如阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr.)、苦豆子 (*Sophora alopecuroides* Linn.)、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl.) 等。土壤生物结皮的覆盖度在 70%~90%, 厚度平均为 0.735 cm, 且人为干扰较小, 封育区内从 2007 年开始实行翻耕, 每隔 10 m 进行带状翻耕。

2 研究方法

在有结皮和去除结皮的土壤中分别进行入渗试验, 入渗试验采用自制双套环入渗仪进行, 内环直径 30 cm, 外环直径 80 cm, 在不破坏土壤原状情况下, 一次性插入试验地块, 其中内环供水用量筒

基金项目: 国家林业局荒漠化定位监测项目 (30771764)

作者简介: 杨秀莲 (1985 年生), 女, 硕士, 主要研究方向为荒漠化防治与监测。E-mail: yang19851020@163.com

*责任作者: 张克斌, E-mail: CTCDD@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2010-02-28

计量。两种情况各重复8次试验,采用积水入渗的方法,内外环积水深度均为5 cm。入渗试验用水为桶装常温水,水温在20℃左右,秒表记录入渗时间,待入渗稳定后在入渗点挖土壤剖面量取实际入渗深度结束试验。

应用样方法进行植被调查,分别在有结皮覆盖和无结皮覆盖的区域布设20~30个样方,调查内容包括株数、盖度、高度、生物量、生态条件及人为干扰情况等,植物多样性的测定通过以下四个方面来进行^[15-18]:

(1) Shannon-Weiner 指数: $H = \sum_{i=1}^S (-P_i \ln P_i)$

(2) Simpson's 指数:

$$D = \sum_{i=1}^S N_i(N_i - 1) / N(N - 1)$$

(3) Pielou 指数: $E = H / \ln S$

(4) Margalef 指数: $R = (S - 1) / \ln N$

其中: $P_i = N_i / N$, N 为一定区域植物重要值总和; N_i 样方中第 i 种植物的重要值, P_i 为重要值比例, S 为样带的植物物种数。

3 结果分析

为分析结皮对土壤水分的影响情况,本研究对有结皮覆盖和无结皮覆盖的土壤进行了入渗试验,通过对比分析两种情况下的水分入渗情况。

试验结果表明,有结皮覆盖的土壤入渗深度明显小于无结皮覆盖的土壤,对土壤入渗进行对数回归分析,其中无结皮覆盖的土壤入渗曲线为 $Y = 4.4355 \ln(x) + 2.2596$, 相关系数 $R = 0.9905$, 有结皮覆盖的土壤入渗曲线为 $Y = 5.1045 \ln(x) - 3.3055$, 相关系数 $R = 0.994$ (图1), 无结皮覆盖的土壤水分初始入渗时间早于有结皮覆盖的, 随着时间的增长, 入渗深度也相应增加, 从10 min开始无结皮土壤的入渗深度达到15 cm左右, 比有结皮覆盖的高约5 cm, 到入渗停止(约90 min), 相同时间内的

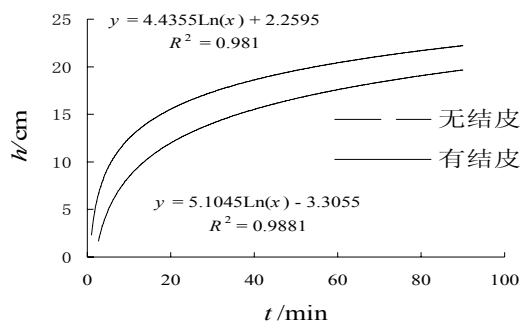


图1 土壤累积入渗曲线

Fig.1 The cumulative infiltration curves of soils

无土壤结皮覆盖的水分入渗都相应高5 cm左右, 水分入渗深度增加对植被根系深入有积极影响, 能够使植物根系更稳固, 有效固定土壤颗粒, 降低土壤沙化程度。

通过土壤入渗率变化曲线可以发现(图2), 无土壤结皮覆盖的初始入渗速率约是有结皮覆盖的3倍, 有生物结皮覆盖的土壤初始入渗速率为 $0.8 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, 而无生物结皮覆盖的土壤初始入渗速率为 $2.6 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, 水分入渗开始40 min以后, 有结皮覆盖和无结皮覆盖土壤的入渗速率才趋于一致, 水分的初始入渗速率增加, 能够减少水分蒸发, 更有效地利用天然降水。

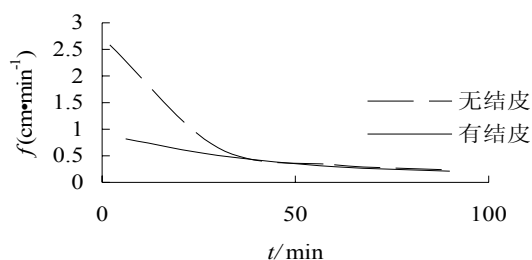


图2 土壤入渗率变化曲线

Fig.2 The infiltration rate curves of soils.

针对土壤生物结皮的影响, 在人工封育区内采取了带状翻耕的措施, 每隔10 m进行一个带状的翻耕, 以比较无生物结皮与有生物结皮的差别及影响, 通过植被数量特征的对比可知(图3), 有结皮覆盖土壤的植被盖度比无结皮的高约33%, 除去生物结皮, 相应的减少了土壤的营养物质, 间接影响植被的生长, 但是无结皮覆盖区域的群落高度和生物量都高于有结皮覆盖的区域, 生物结皮与植被之间存在竞争, 相互争夺水分和营养成分, 除去生物结皮, 有利于植被的个体生长优势。

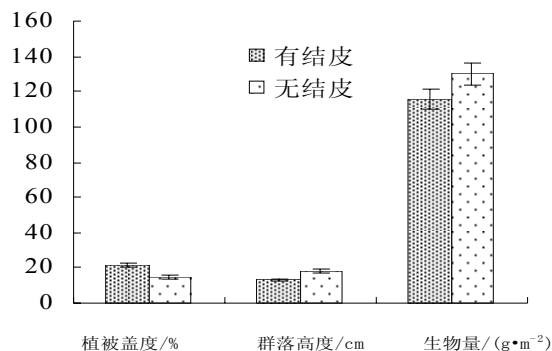


图3 植被数量特征比较

Fig.3 Comparison of quantitative characteristics of vegetation

通过多样性指数对比表明(图4),无结皮覆盖的植被群落多样性指数、均匀度指数、优势度指数和丰富度指数均高于有结皮覆盖的植被。相对于封育时间较长的草地,生物结皮生长占优势,与植物相互竞争,互相抑制,同时由于结构致密,影响水分入渗,降低了土壤的水分吸收,盐池县的降水主要集中在7—9月,植物生长季节的月平均降水量为10 mm,生物结皮与植被竞争土壤水分及有机质,在植物萌发及幼苗期存在更大的竞争,抑制植被的生长,减少了植物多样性,对有结皮覆盖区域实施翻耕能够破坏生物结皮,减少其对水分利用的影响,植被能够利用的水分与营养增加,在植被生长季节进行适当翻耕,有利于区域植被的恢复。

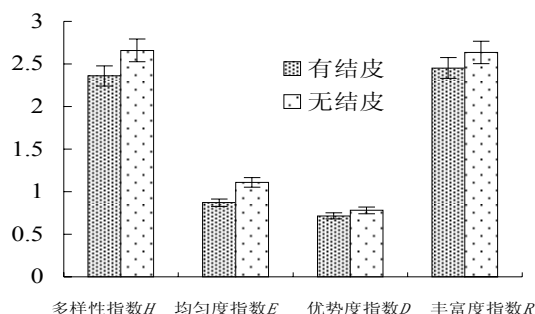


图4 植物多样性比较

Fig.4 Comparison of plant diversity

4 结论与讨论

(1) 随着封育年限的增加,土壤生物结皮逐渐影响水分的入渗,去除生物结皮的土壤水分入渗速率及累计入渗深度都有所增加,形成时间达9年以上的生物结皮抑制植被的生长。

(2) 去除生物结皮的土壤植被多样性大于有结皮覆盖的土壤,结皮与植被之间存在营养及水分的竞争,形成时间长的生物结皮影响干旱区植被的恢复。

土壤生物结皮在西北干旱区植被恢复的初期是有积极影响的,能够起到固定土壤颗粒、吸收水分、为植被提供营养等作用,因此处在封育初期的草地要适当保护土壤生物结皮,但当环境条件改善时,结皮开始抑制植物的生长,因此在生长季节对有结皮覆盖区域进行适当的翻耕有利于区域植被的恢复,但由于盐池县冬春季节多大风,去除生物结皮之后土壤质地松散,容易被大风吹蚀,因此翻耕区域和面积要适当,既要利于植被的恢复,又不能使土壤受到吹蚀。

参考文献:

- [1] Li Xing Rong, Zhou Hai Yan, Wang Xin Ping, et al. The effects of revegetation oil cryptogam species diversity in Tengger Desert, Northern China[J]. Plant and Soil, 2003, 251: 237-245.
- [2] ELDRIDGE D J, GREENE R S B. Microbiotic soil crust; a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32: 389-415.
- [3] DANIN A, BARORY, DOR I, et al. The role of cyanobacteria in stabilization of sand dunes in southern Israel[J]. Ecologia Mediterranea, 1989, 15(1): 55-64.
- [4] 张元明, 王雪芹. 准噶尔荒漠生物结皮研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
ZHANG Yuanming, WANG Xueqin. The Study of Bio-crust in Zhunger Desert[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [5] WEST N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland eco-systems of arid to semiarid regions[J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.
- [6] 闫德仁, 薛英英, 刘果厚. 库布齐沙漠生物结皮层土壤理化特性的研究[J]. 土壤, 2008, 40(1): 145-148.
YAN Deren, XUE Yingying, LIU Guohou. Soil physical and chemical properties of bio-crust in Kubuqi Desert[J]. Soils, 2008, 40(1): 145-148.
- [7] 吴玉环, 高谦, 程国栋. 生物土壤结皮的生态功能[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 41-45.
WU Yuhuan, GAO Qian, CHENG Guodong. Ecological function of biological soil crusts[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(4): 41-45.
- [8] 吴楠, 潘伯荣, 张元明. 土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态学意义[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 444-450.
WU Nan, PAN Borong, ZHANG Yuanming. Effects and ecological significance of soil-inhabiting microorganisms in the formation of biological soil crusts[J]. Arid Zone Research, 2004, 21(4): 444-450.
- [9] 凌裕泉, 屈建军, 胡玫. 沙面结皮形成与微环境变化[J]. 应用生态学报, 1993, 4(4): 393-398.
Ling Yuquan, Qu Jianju, Hu Wen. Crust formation on sand surface and microenvironmental change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1993, 4(4): 393-398.
- [10] 齐雁冰, 常庆瑞, 惠洪河. 高寒地区人工植被恢复过程中沙表生物结皮特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 98-102.
QI Yanbing, CHANG Qingrui, HUI Yanghe. Effect of vegetation recovery on desertification sand-fixing in high frigid region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(6): 98-102.
- [11] 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[J]. 冰川冻土, 2005, 27(4): 619-626.
LI Weihong, REN Tianrui, ZHOU Zhibin, et al. Study on the soil physicochemical characteristics of biological crusts on sand-dune surface in Gurbantungut Desert, Xinjiang Region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(4): 619-626.
- [12] 吴玉环, 高谦, 于兴华. 生物土壤结皮的分布影响因子及其监测[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 38-42.
WU Yuhuan, GAO Qian, YU Xinghua. Distribution influencing factors and monitoring of biological soil crusts[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(3): 38-42.
- [13] 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.
- [14] 张克斌, 卢晓杰, 李瑞. 北方农牧交错带沙地生物结皮研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 147-151.
- ZHANG Kebin, LU Xiaojie, LI Rui. The study on ecological meaning of the microbiotic soil crust in agriculture animal husbandry of the Northwest China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(4): 147-151.
- [15] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. General System, 1957, 3: 37-71.
- [16] ODUM E P. Fundamentals of Ecology[M]. 3rd edition. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1971.
- [17] 彭少麟, 方炜, 任海, 等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态[J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 245-249.
- PENG Shaolin, FANG Wei, REN Hai, et al. The dynamics on organization in the successional process of dinghushan cryptocarya community[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1998, 22(3): 245-249.
- [18] 马克平. 生物多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- MA Keping. Measurement of biotic community diversity I: alpha diversity measures[J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(3): 162-168.

Effects of biological soil crusts on water infiltration and plant diversity in fenced grassland soil

YANG Xiulian, ZHANG Kebin, CAO Yongxiang

College of Soil and Water Conservation/Soil and Water Conservation Key Lab. of Ministry of Education,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: In 2000, Liuyangpu of Yanchi county built fenced areas to protect grassland ecosystems from disturbance and to study the establishment of microbiotic soil crusts and their affect on soil moisture and vegetative restoration. This paper analyzes how biological crust affect soil moisture by double ring infiltration method, and measures the change of plant diversity before and after dislodgement of crusts in Liuyangpu artificial closure area. The results show that crust soils have lower infiltration curves compared to no-crust soils with $5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ difference for the maximum infiltration speed. The initial infiltration rate for crust soils is $0.8 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, compared to $2.6 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ in no-crust soils. As the increase in length of closure due to fencing, the coverage area and thickness of biological crust increase year by year. It become more thightness in structure and affect water infiltration into soil as well as affect vegetation growth speed. Compared the plant diversity between the new tilled fenced grassland and no-tilling grassland in closure area, the diversity index at new tillage area is higher than that of no-tillaged area. Therefore, optimum tillage or grazing in the closure area can reduce the negative effects of soil crust to water infiltration and get more efficient use of precipitation, and accelerate restoration of grassland vegetation.

Key words: biological crust, water infiltration, plant diversity