

风沙采煤沉陷区小叶杨下生物结皮空间分异规律

张文君¹, 高永¹, 党晓宏^{1,2}, 王瑞东¹, 闫宇¹

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古杭锦旗荒漠生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古 鄂尔多斯 017400)

摘 要: 为了解小叶杨林下生物结皮分布状况及其影响因素, 从而能够为风沙采煤沉陷区小叶杨植物群落演替和植被恢复提供理论基础, 以风沙采煤沉陷区小叶杨林下生物结皮为研究对象, 采用样线法对小叶杨林下生物结皮分布进行调查, 测定了小叶杨林下生物结皮的分布半径和厚度, 分析了小叶杨林下生物结皮在东南、东北、西南和西北 4 个方向的分布特征。结果表明: (1) 小叶杨下生物结皮在不同方向上的分布存在差异, 东南方向生物结皮分布半径最大, 为树冠半径的 0.90 倍; 西北方向上结皮分布半径最小, 为树冠半径的 0.72 倍; 东北和西南介于二者之间。 (2) 小叶杨下生物结皮厚度分布存在差异, 生物结皮距小叶杨基部 0 cm 处出现最大值, 其值为 1.64 cm, 随着距离的增加生物结皮厚度逐渐减小。 (3) 在 4 个方向上, 东南方向生物结皮最厚, 平均厚度为 1.44 cm; 西北方向生物结皮最薄, 平均厚度为 1.23 cm。小叶杨下生物结皮厚度与土壤含水率变化从小叶杨基部距离到距基部 140 cm 处, 呈现随距基部距离的增加而降低, 变化趋势基本一致。

关键词: 生物结皮; 小叶杨; 分布半径; 采煤沉陷区

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)06-0085-05

Spatial Distribution of Biological Crust Under *Populus simonii* Carr. in Mining Subsidence Area of Aeolian Sand Region

ZHANG Wenjun¹, GAO Yong¹, DANG Xiaohong^{1,2}, WANG Ruidong¹, YAN Yu¹

(1. Institute of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Hangjin Desert Ecological Position Research Station of Inner Mongolia, Ordos, Inner Mongolia 017400, China)

Abstract: In order to realize the distribution of biological crusts under *Populus simonii* Carr. and their influence factors, and provide a theoretical basis for the community succession and vegetation restoration of *Populus simonii* Carr. in subsidence area of aeolian sand mining region, we took the biological crusts under *Populus simonii* Carr. as the research samples, investigated the distribution of the biological crusts by using the transect method, measured the distribution radius and thickness of biological crusts, and analyzed the distribution characteristics of biological crusts under *Populus simonii* Carr. in four directions: southeast, southwest, northwest and northeast. The results indicate that: (1) there are significant differences in distributions of biological crusts under *Populus simonii* Carr. in different directions, the distribution radius of biological crust in the southeast is the largest, which is 0.90 times of the size of the crown radius; the distribution radius of biological crust in the northwest is the least, which is 0.72 times of the size of the crown radius; the distribution radius in the northeast and in the southwest are in between; (2) there are differences in thickness distributions of biological crusts under *Populus simonii* Carr., the maximum value of biological crust appears at 0 cm from the base of *Populus simonii* Carr., which is 1.64 cm; the thickness of biological crusts gradually decreases with distance; (3) in four directions, the biological crust in the southeast is the thickest, of which an average thickness is 1.44 cm; the biological crust in the northwest is the thinnest, of

收稿日期: 2019-10-30

修回日期: 2020-03-10

资助项目: 内蒙古自治区科技重大专项资金项目“重点区域荒漠化过程与生态修复研究示范”(zdx2018058); 中央引导地方科技发展专项资金计划项目“内蒙古荒漠化防治创新研究中心”

第一作者: 张文君(1994—), 女, 内蒙古巴彦淖尔人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: 18048339699@163.com

通信作者: 高永(1962—), 男, 内蒙古包头人, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: 13948815709@163.com

which an average thickness is 1.23 cm. The changes of biological crust thickness and soil moisture content from the base distance to 140 cm from the base of *Populus simonii* Carr. decrease with the increase of the distance from the base, and the change trend is basically the same.

Keywords: biological crust; *Populus simonii* Carr.; distribution radius; mining subsidence area of aeolian sand region

土壤在化学、物理或者生物作用下会形成一层特殊的表面结构,附着在土壤表层,从而形成土壤生物结皮^[1-2],真菌、细菌、蓝藻、地衣、苔藓植物和许多常见的非维管植物成分都属于土壤生物结皮^[3],广泛分布于干旱和半干旱地区。生物结皮作为荒漠生态系统的重要组成部分,不仅对降雨入渗、风蚀、水蚀和植物生长发育有很大的影响^[4],而且在改善土壤结构、增加土壤肥力、固定流沙、提高土壤抗风蚀、水蚀^[5-7]等方面和改善生态环境中发挥重要的作用^[8]。

近年来,国内外研究人员对生物结皮做了大量的研究,主要包含生物结皮的发育特征。生物结皮对土壤理化性质的作用^[9-13],生物结皮分布特征及微生物分布特征^[14],生物结皮对土壤水分和风蚀的影响^[15],生物结皮发育对土壤粒度特征的影响,以及生物结皮的光合和呼吸特性等^[16]。并有研究发现油蒿植株下的生物结皮分布与风向和到植株根部距离有密切关系^[17]。基于此,本研究以风沙采煤沉陷区人工小叶杨林下生物结皮的分布特征进行研究,以期找出小叶杨下生物土壤结皮空间分异规律,其研究结论对植被恢复和防护林建设提供参考数据^[18]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市伊金霍洛旗木伦木伦镇李家塔煤矿,乌兰木伦河东岸,位于陕北黄土高原与毛乌素沙地的过渡带(110°07′—110°14′E,39°22′—39°28′N),海拔高度约 1 200 m。该地区属大陆季风性气候,夏季酷热,冬季严寒,干旱少雨,多年平均降水量均在 323.4 mm。地带性土壤为风沙性土壤,松散风化物为主要地表成分。沙源丰富,风大且频繁^[19]。耐旱、耐寒的沙生植物为主要植被,呈现稀松灌丛植被^[20]。主要植物种有沙柳(*Salix psammophila*)、小叶杨(*Populus simonii*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)等,主要的建群植物为小叶杨,在固定沙地,小叶杨盖度约为 30%~40%。且在样地调查时发现,生物结皮在小叶杨下普遍分布,生物结皮的存在是评定小叶杨沙地固定程度不可或缺的指标之一。

1.2 研究设计

试验于 2019 年 6 月中下旬在研究区选取小叶杨树冠外缘与相邻小叶杨树冠外缘间距离大于 3 m 且对壮龄时期的 10 株独立小叶杨进行研究,采用样线法测定小叶杨林下生物结皮分布情况,样线布设中心为小叶杨基部,样线布设方向为与盛行风(西北风)向平行和垂直,4 条样线布设方向为东南、东北、西南、西北,对每株小叶杨的冠幅、树冠半径及生物结皮分布半径(表 1)和生物结皮厚度进行调查并记录。选择有代表性的小叶杨,距其基部间隔 20 cm 处设置 5 cm×5 cm 的样方,直至无生物结皮。然后,使用自制的不锈钢方框进行垂直采样,样品的土壤结皮约为 2 cm×2 cm×2 cm。由于结皮中存在大量菌丝,团聚程度相对较高,容易清除附着在结皮及其下部的疏松沙粒^[21]。取出结皮,清除下部沙粒,用游标卡尺测量厚度,重复测量 3 次。最后,将试验样品带回实验室,在 105℃ 的烘箱中烘干并称重。用 Excel 2007, Origin 2018 和 SPSS 23 对取得的数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 生物结皮距小叶杨基部不同距离的分布特征

由 10 株小叶杨林下生物结皮厚度随基部距离变化的平均值(图 1)可见:生物结皮厚度与距小叶杨基部距离存在显著的线性相关关系($R^2=0.97, p<0.01$)。生物结皮距小叶杨基部 0 cm 处出现最大值,其值为 1.64 cm,随着距离的增加生物结皮厚度逐渐减小。距小叶杨基部距离 140 cm 处的生物结皮平均厚度仅为 1.07 cm。0—140 cm 生物结皮厚度平均每 20 cm 下降 0.08 cm,其中 0—60 cm 平均每 20 cm 下降 0.09 cm,60—140 cm 每 20 cm 下降 0.08 cm,说明生物结皮厚度的减小速率随着距小叶杨基部距离的增加而缓慢下降。通过图 2 可以更加直接地看出生物结皮厚度变化幅度。生物结皮与植株的距离越近,其厚度越大,这种现象很可能是因为植株对其下生物结皮的生长发育有促进作用。研究区干旱少雨,年蒸发量大,小叶杨树枝较长且密,可显著降低风速,阻挡到达地面的光照,降低地表温度增加湿度,为生物结皮的生长发育提供了有利的环境,距小叶杨基部的距离越近,光照越弱湿度越强,从而导致生物结皮就越厚。

反之,距小叶杨基部越远,没有了小叶杨枝条的遮蔽,生物结皮会暴露在阳光直射之下,从而造成水分的流失,生物结皮会因缺水而死亡。

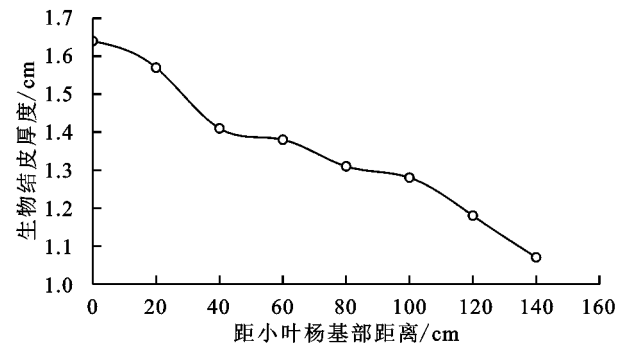


图1 小叶杨下生物结皮距小叶杨基部不同距离的分布特征

2.2 生物结皮距小叶杨基部不同方向的分布特征

生物结皮在东南、东北、西南和西北方向的分布半径差异显著($p<0.05$),对10株小叶杨不同方向上生物结皮分布半径进行排序,由表1可知,生物结皮在东南方向的分布半径显著大于其他3个方向,而生

物结皮在西北方向的分布半径则显著小于其他3个方向。生物结皮在东南方向的平均分布半径为188.2 cm,在西北方向的平均分布半径仅为139.6 cm。生物结皮在东北和西南方向的分布半径差异不显著($p>0.05$),且分布半径在东南和西北方向之间。生物结皮在4个不同方向上的最大和最小分布半径分别为224,98 cm。

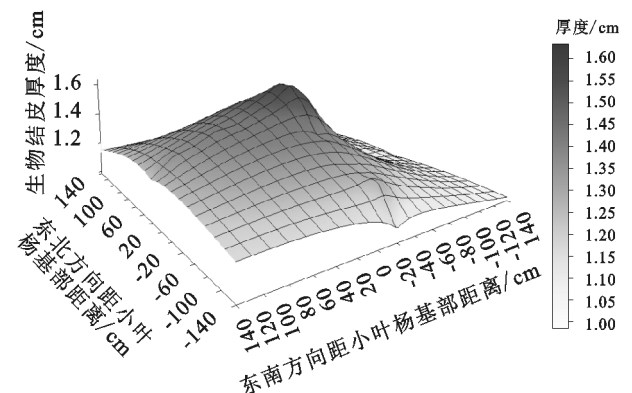


图2 小叶杨下生物结皮厚度三维图

表1 10株小叶杨树冠半径及生物结皮分布半径

项目	树冠半径				生物结皮分布半径			
	东南	东北	西南	西北	东南	东北	西南	西北
最大	266.00	228.00	235.00	214.00	240.00	220.00	224.00	190.00
最小	181.00	168.00	145.00	137.00	160.00	150.00	153.00	98.00
均值	225.60±35.39	201.60±24.65	197.40±32.74	175.80±32.78	188.20±27.26	173.40±24.13	173.80±24.66	139.60±31.96

图3是小叶杨下生物结皮距小叶杨基部不同方向的分布特征。分析发现,生物结皮厚度在不同方向上的分布趋势是相似的,最大值出现均出现在距基部0 cm处,随后距基部较近处生物结皮厚度下降速度较快,其余均呈缓慢逐渐下降趋势。

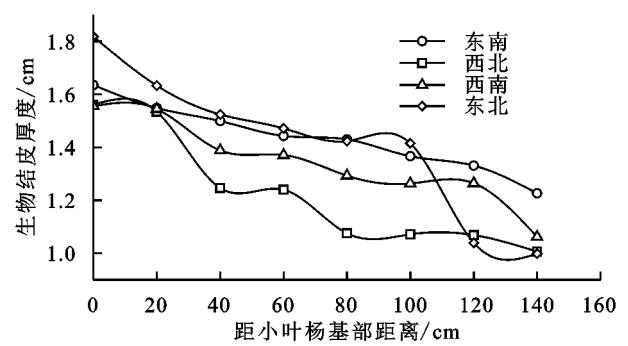


图3 小叶杨下生物结皮距小叶杨基部不同方向的分布特征

随着距小叶杨基部距离的增加,生物结皮厚度逐渐减小。小叶杨基部(0 cm)生物结皮厚度大于距小叶杨基部20—140 cm范围内的生物结皮厚度。在4个方向上,生物结皮厚度差异显著。其中东南方向生物结皮厚度最大,平均厚度为1.44 cm;西北生物结皮厚度最薄,平均厚度为1.23 cm;东南方向比西北方向生物结皮平均厚0.21cm。东北、西南方向生物结皮平均

厚度分别为1.42,1.34 cm,处于东南和西北二者之间。分析发现,东北方向0 cm处的生物结皮平均厚度为1.82 cm,是各方向的最大厚度,比东南方向厚0.18 cm,比西南、西北方向均厚0.26 cm。根据得到的数据,西北方向的平均厚度为1.23 cm,4个方向的平均厚度为1.35 cm,是最薄的生物结皮,低于平均厚度0.12 cm。

3 讨论

3.1 毛乌素沙地小叶杨林下生物结皮的分布规律

小叶杨固定沙地东南、东北、西南和西北方向生物结皮的分布半径存在差异。除西北方向外,其他3个方向生物结皮的分布半径均较大,东南方向最大,为188.2 cm。其他研究人员也得出了类似的结论,如张军红等^[22]通过对油蒿植株下生物结皮分布格局的分析,发现油蒿植株下生物结皮在不同方向上的分布存在显著差异。生物结皮的分布半径东南方向最长,西北方向最短。然而,一些学者的结论与本文不同。例如,刘法等^[17]采用样线法研究了油蒿植株下生物结皮的分布。结果表明,油蒿植株下生物结皮厚度分布存在明显差异。西北方向生物结皮最厚,西南和东北方向生

物结皮最薄,差异不显著。这些不同的结论可能来源于植被类型、调查时间和测定方法的不同。

3.2 毛乌素沙地小叶杨林下生物结皮分布的影响因素

植被类型、土壤质地、枯落物以及风向等因素会对生物结皮形成和分布造成影响^[23-26]。植被在裸沙地定植后,一方面改变周围气流场的结构,使风速降低,增加地表的稳定性,为生物结皮的生长发育提供有益的外界条件^[27];另一方面,植被等通过滞尘等方式有效地向地面输送细颗粒物,从而增加地表的物质含量,为生物结皮的生长发育供给物质基础和营养条件^[28]。研究区小叶杨固定沙地,虽然植被盖度较低,但行带式的造林方式大大增强了地表的稳定性,且小叶杨植株体高于其他灌丛植被,冠幅大于其他灌丛植被,在东南、东北、西南和西北 4 个方向上树冠半径最大值为 266 cm,最小值为 137 cm。研究区属半干旱性季风气候区,常年主导风向为西北风,小叶杨长久受北风的影响,导致西北方向枝条稀疏(表 1),在东南方向,树枝长且密,可显著降低风速,阻挡到达地表的光照,使得地表土壤温度降低,湿度增加,为生物结皮的生长提供有利环境。例如,张军红等^[22]表明,油蒿植株下生物结皮的分布与枯落物的分布密切相关,研究区内的风况和油蒿植冠对枯落物的分布有一定的影响。

土壤水分对生物结皮的分布有很大的影响^[29]。植被通过遮荫等方式改变土壤温湿度,从而造成地表土壤水分分布格局的差异,尤其是植株形态较大的乔木或灌丛植被^[30]。小叶杨植物体较高,与其他低矮的灌丛植被相比,遮挡光照的时间更长且遮挡面积更大,从而减小地表蒸发并有益于地表土壤水分的稳定,使地表水分的空间分布格局发生变化。通过此次研究发现,生物结皮厚度变化与土壤含水率变化趋势基本相同,从图 4 可以看出,小叶杨下生物结皮厚度与土壤含水率变化从小叶杨基部距离到距基部 140 cm 处,呈现随距离的增加而降低。在 0—40 cm 范围内,生物结皮厚度从 1.64 cm 下降到 1.41 cm,同距离处土壤含水率从 3.85% 下降到 2.87%,生物结皮厚度与土壤含水率下降速度较快;在 40—140 cm 处生物结皮厚度由 1.41 cm 下降到 1.07 cm,同等距离处土壤含水率则由 2.87% 下降到 2.4%,呈现出缓慢下降趋势。可见,土壤含水量的变化与生物结皮厚度的变化趋势基本一致。这与吴永胜等^[14]表明生物结皮盖度随土壤含水率的增加而增加,小叶杨的建植有利于生物结皮的生长发育,土壤水分是影响生物结皮发育

和分布的重要因素的结论相一致。

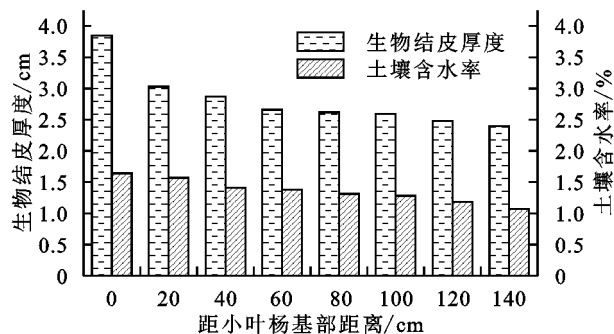


图 4 土壤含水率与生物结皮厚度的变化趋势

综上所述,生物结皮在不同植被下的分布差异较大,植被类型、土壤水分、枯落物以及风向在一定程度上影响生物结皮分布。另外,尽管做了大量的野外调查取样,具有一定的代表性,但只选择了风沙采煤沉陷区一小部分区域的小叶杨群落。作者将在进一步的研究中扩展研究区域,进而能够更好、更全面地为改善生态环境等方面提供可靠的帮助。最后,影响其分布的其他因素还有许多,希望在今后得到进一步的研究。

4 结论

(1) 小叶杨下生物结皮的分布半径东南方向显著大于其他 3 个方向,而西北方向生物结皮的分布半径最短。4 个方向上生物结皮分布半径的最大值达 224 cm,最小值为 98 cm。

(2) 生物结皮厚度与距小叶杨基部距离存在显著的线性相关关系。距小叶杨基部 0 cm 的生物结皮厚度为 1.64 cm,随着距基部距离的增加生物结皮厚度逐渐减小。从 0—140 cm 生物结皮厚度平均每 20 cm 下降 0.08 cm,其中 0—60 cm 平均每 20 cm 下降 0.09 cm,60—140 cm 每 20 cm 下降 0.08 cm,说明生物结皮厚度的减小速率随着距小叶杨基部距离的增加而缓慢下降。

(3) 4 个方向上生物结皮厚度存在显著差异,东南方向上的生物结皮最厚,平均厚度为 1.44 cm,在西北方向上平均厚度 1.23 cm 为最薄结皮,东北与西南方向差异不显著,且值处于东南和西北方向之间。

(4) 小叶杨下生物结皮厚度与土壤含水率变化从小叶杨基部距离到距基部 140 cm 处,呈现随距基部距离的增加而降低,变化趋势基本一致。

参考文献:

- [1] 刘利霞,张宇清,吴斌.生物结皮对荒漠地区土壤及植物的影响研究述评[J].中国水土保持科学,2007,5(6): 106-112.

- [2] 徐晓腾.宁夏盐池沙地土壤结皮理化性质对环境的影响及反射光谱的分析[D].北京:北京林业大学,2015.
- [3] 艾尼瓦尔·吐米尔,王玉良,阿不都拉·阿巴斯.新疆准噶尔盆地南缘土壤生物结皮中地衣物种组成和分布[J].植物资源与环境学报,2006,15(3):35-38.
- [4] 卜崇峰,蔡强国,张兴昌,等.土壤结皮的发育特征及其生态功能研究述评[J].地理科学进展,2008,5(2):26-31.
- [5] Bu C, Zhao Y, Hill R L, et al. Wind erosion prevention characteristics and key influencing factors of bryophytic soil crusts[J]. Plant & Soil, 2015,397(1/2):163-174.
- [6] Chaudhary V B, Bowker M A, O'Dell T E, et al. Untangling the biological contributions to soil stability in semiarid shrublands[J]. Ecological Applications, 2009, 19(1):110-122.
- [7] Eldridge D J. Biological Soil Crusts and Water Relations in Australian deserts[M]// Belnap J, Lange O L. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. 2nd Ed. Berlin: Springer, 2001.
- [8] 杨晓晖,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.
- [9] 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[J].生态学报,2003,23(7):1442-1448.
- [10] 齐雁冰,常庆瑞,惠泱河.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.
- [11] 陈荣毅,张元明,潘伯荣,等.古尔班通古特沙漠土壤养分空间分异与干扰的关系[J].中国沙漠,2007,27(2):257-265.
- [12] 郭轶瑞,赵哈林,赵学勇,等.科尔沁沙地结皮发育对土壤理化性质影响的研究[J].水土保持学报,2007,21(1):135-139.
- [13] 杨洪晓,张金屯,吴波,等.油蒿(*Artemisia ordosica*)对半干旱区沙地生境的适应及其生态作用[J].北京师范大学学报:自然科学版,2004,49(5):684-690.
- [14] 吴永胜,哈斯,李双权,等.毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮中微生物分布特征[J].生态学杂志,2010,29(8):1624-1628.
- [15] 杨永胜.毛乌素沙地生物结皮对土壤水分和风蚀的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [16] 胥德丽.科尔沁沙地生物结皮的光合和呼吸特性研究[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2011.
- [17] 刘法,张光辉,杨海龙,等.风向及油蒿植株对生物结皮分布特征的影响[J].中国水土保持科学,2014,12(4):100-105.
- [18] 郑克祥,李柏,惠波.荒漠化地区地衣结皮厚度分布特征研究[J].中国水土保持,2017(10):50-53.
- [19] 章予舒,谢高地,肖玉.弃耕农田土壤分形特征研究:以内蒙古自治区伊金霍洛旗为例[J].中国生态农业学报,2005,13(3):42-44.
- [20] 赵宏宇.采煤塌陷对沙质土壤水分特性的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [21] 张军红,吴波.油蒿与臭柏沙地生物结皮对土壤理化性质的影响[J].东北林业大学学报,2012,40(3):58-61.
- [22] 张军红,吴波,贾子毅,等.毛乌素沙地油蒿植冠下生物结皮分布特征及其影响因素研究[J].林业科学研究,2010,23(6):866-871.
- [23] 刘法.毛乌素沙地油蒿格局分析及对地表结皮的影响[D].北京:北京林业大学,2012.
- [24] 李新荣,周海燕,王新平,等.中国干旱沙区的生态重建与恢复:沙坡头站60年重要研究进展综述[J].中国沙漠,2016,36(2):247-264.
- [25] 李新荣,张元明,赵允格.生物土壤结皮研究:进展、前沿与展望[J].地球科学进展,2009,24(1):11-24.
- [26] 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(29):179-223.
- [27] 杨文斌,卢琦,吴波,等.低覆盖度不同配置灌丛内风流结构与防风效果的风洞试验[J].中国沙漠,2007,27(5):791-796.
- [28] 赵哈林,郭轶瑞,周瑞莲,等.降尘、凋落物和生物接种对沙地土壤结皮形成的影响[J].土壤学报,2011,48(4):693-700.
- [29] Lan S, Wu L, Zhang D, et al. Analysis of environmental factors determining development and succession in biological soil crusts[J]. Science of the Total Environment, 2015,538:492-499.
- [30] Kidron G J, Barzilay E, Sachs E. Microclimate control upon sand microbiotic crusts, western Negev Desert, Israel[J]. Geomorphology, 2000,36(1):1-18.