

毛乌素沙地南缘人工植被区生物结皮发育特征

吴永胜¹, 尹瑞平¹, 田秀民¹, 哈斯²

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘要: 防沙治沙和生态修复工程实施之后, 有植物定植的沙丘表面广泛发育了生物结皮。揭示不同类型人工植被与生物结皮发育特征之间的关系对受损荒漠系统的生态修复具有重要的参考价值。采用野外调查的方法, 对毛乌素沙地南缘沙区不同类型人工植被区(羊柴 *Hedysarum mongdicum*、小叶杨 *Populus simonii*、沙柳 *Salix psammophila* + 羊柴、紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 和沙地柏 *Sabina vulgaris*) 生物结皮厚度、抗剪强度、总盖度及分盖度进行了测定。结果表明: 不同类型人工植被区生物结皮发育特征表现出较大差异, 小叶杨样地生物结皮厚度、抗剪强度和总盖度均显著高于其他类型人工植被区 ($P < 0.05$), 羊柴、沙柳 + 羊柴样地生物结皮的盖度较低。分盖度的调查结果表明, 小叶杨样地生物结皮以藓类结皮为主, 其余样地则以藻类结皮为主。生物结皮盖度随植被盖度的增加而减少, 随表层(0~5 cm)土壤含水量的增加而增加。小叶杨的建植有利于生物结皮的扩殖, 沙柳行带间栽植羊柴则不利于生物结皮的发育。

关键词: 生物结皮; 人工植被; 毛乌素沙地; 环境因子

文章编号: 1000-694X(2018)02-0339-06

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00161

中图分类号: Q944.52

文献标志码: A

0 引言

中国是世界上受荒漠化危害最严重的国家之一, 其中尤以沙漠化危害最为严重^[1]。随着“三北”防护林等国家重点生态环境建设工程的实施, 沙区植被盖度显著提高, 流沙被固定的同时沙丘表面广泛发育了生物结皮^[2-3]。了解不同类型人工植被与生物结皮发育特征之间的相互关系对于防沙治沙和受损系统的生态修复具有重要的参考价值。

生物结皮作为荒漠生态系统重要的地表景观, 其形成以植被定植和地表稳定为前提, 发育过程与维管束植物演替和植物配置方式密切相关^[4-6]。腾格里沙漠沙坡头地区生物结皮发育特征的研究结果显示, 在人工植被的演替过程中, 生物结皮的发育特征表现出明显的差异, 存在着清楚的时间序列^[5,7]。黄土丘陵区植被和生物结皮分布格局的研究结果表明, 生物结皮与维管束植物呈镶嵌分布的格局, 250~350 mm 降雨带生物结皮的平均盖度显著高于 350~500 mm 降雨带, 即生物结皮的盖度与维管束植物盖度之间形成一种竞争关系, 生物结皮盖度随降雨量和植被盖度的增加呈减少的趋势^[8]。在坡面尺度上生物结皮的分布及其影响因素的研究结果表

明, 生物结皮的分布对地形、土壤和植物群落类型具有较强的选择性, 生物结皮则更偏向于生长在较湿润的沙生植被群落当中^[9-10]。显然, 在土壤类型基本一致的前提下, 植被群落结构的差异对生物结皮的形成和发育产生重要的影响。然而, 目前尚不清楚不同的植被类型与生物结皮发育特征之间的相互关系, 致使对沙区现有人工植被的恢复效益缺乏全面的了解和准确的评价。为此, 笔者选择毛乌素沙地南缘沙区不同类型的人工植被, 在调查地表植被特征和生物结皮发育特征的基础上探讨不同类型人工植被与生物结皮发育特征之间的关系, 旨在为防沙治沙和沙漠化治理等植物防护措施的优化提供相关参考。

1 研究区和方法

1.1 研究区

研究区位于陕西省榆林市靖边县海则滩乡, 是鄂尔多斯高原向陕北黄土高原的过渡地区 (37°38'42"—37°42'42"N, 108°50'54"—108°58'00"E, 海拔 1 350 m), 属半干旱气候。多年平均降水量 394.7 mm, 降水集中在夏、秋两季, 降水变率大, 最大降水

收稿日期: 2016-09-30; 改回日期: 2016-12-05

资助项目: 国家自然科学基金项目(41201015); 中国水利水电科学研究院科研专项(MK2016J04)

作者简介: 吴永胜(1982—), 男, 内蒙古科左中旗人, 博士, 工程师, 主要从事荒漠化防治和干旱区生态环境方面的研究。E-mail: yswu-work@126.com

量达 744.6 mm(1964 年),最小降水量仅 205 mm(1965 年);多年平均蒸发量为 2 484.5 mm,为多年平均降水量的 6.32 倍。研究区流动、半固定、固定沙丘与湖盆滩地相间。沙丘沉积物机械组成以细沙为主^[11]。研究区属暖温性草原带,主要天然植物有油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、软毛虫实(*Corispermum puberulum*)、沙竹(*Psammochloa villosa*)等。随着防沙治沙和生态修复工程的实施,沙丘表面种植了大面积的人工植被,主要有小叶杨(*Populus simonii*)、沙柳(*Salix psammophila*)、羊柴(*Hedysarum mongdicum*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)和沙地柏(*Sabina vulgaris*)等。

1.2 方法

在研究区分别选择羊柴、小叶杨、沙柳+羊柴

(以下简称沙柳)、紫穗槐和沙地柏样地(表 1),调查植被和生物结皮发育特征。尽量选取地形起伏较小的样地,以减少微地形差异对生物结皮发育的影响。植被调查采用样方调查法,在每一种植被类型区随机设置 12 个 5 m×5 m 的样方,乔木样地随机设置 12 个 10 m×10 m 的样方,记录植被盖度、种类组成和数量,5 种植被类型区共获得 60 个样方数据。在每个植被样方内随机设置 1~2 个 1 m×1 m 的小样方,分别测定生物结皮厚度、抗剪强度、盖度以及表层土壤(0~5 cm)体积含水量。每种植被类型共获得生物结皮发育特征和表土含水量的数据共 20 组,5 种植被类型共获得数据 100 组。生物结皮厚度和抗剪强度分别用游标卡尺和袖珍土壤剪力测量仪(Eijkelamp, 荷兰)直接测定。生物结皮盖度及分盖度的测定采用点针法^[7]。表土含水量的测定采用 ML3 便携式土壤水分速测仪。

表 1 不同人工植被区基本特征

Table 1 General condition of the plots

样地	种植时间	植被盖度/%	行距×株距/m	植物高度/m	其他植物	表土含水量/%
羊柴	2007 年	42.9±2.1 ^a	2×1	0.6~0.8	紫菀、碱蒿、草木樨状黄芪	1.6±0.1 ^b
小叶杨	1976 年	28.4±1.6 ^b	10×2	2~7	紫菀、草木樨状黄芪	2.2±0.2 ^a
沙柳*	1976 年	43.0±2.8 ^a	3×2	2~2.5	羊柴、碱蒿、草木樨状黄芪	1.6±0.1 ^b
紫穗槐	1998 年	26.5±1.5 ^b	4×2	0.8~1.2	紫菀、碱蒿	1.4±0.1 ^b
沙地柏	2008 年	26.8±1.8 ^b	3×2	0.5~0.8	无	1.7±0.1 ^b

* 沙柳行带间种植了羊柴;表中数字为平均值±标准误(植被盖度 $n=12$,含水量 $n=20$);同一列不同的小写字母代表不同类型人工植被之间差异显著($P<0.05$);紫菀(*Aster tataricus*),碱蒿(*Artemisia anethi folia*),草木樨状黄芪(*Astragalus melilotoides*)

不同类型人工植被区植被盖度、表土含水量以及生物结皮发育特征之间的差异采用单因素方差分析方法($\alpha=0.05$)。用 Microsoft Excel 2010 制图。

2 结果与分析

2.1 生物结皮厚度和抗剪强度变化

不同类型人工植被区生物结皮厚度不同(图

1)。小叶杨样地生物结皮最厚,羊柴样地生物结皮最薄,沙柳、紫穗槐和沙地柏样地生物结皮厚度介于上述两个样地之间。小叶杨样地生物结皮厚度显著高于其他类型人工植被区($P<0.05$),沙柳样地生物结皮厚度显著高于羊柴样地($P<0.05$),与紫穗槐和沙地柏样地之间差异不显著($P>0.05$);抗剪强度是指结皮层抵抗外界破坏的极限能力,其大小能够反映地表的稳定性。不同类型人工植被区生物

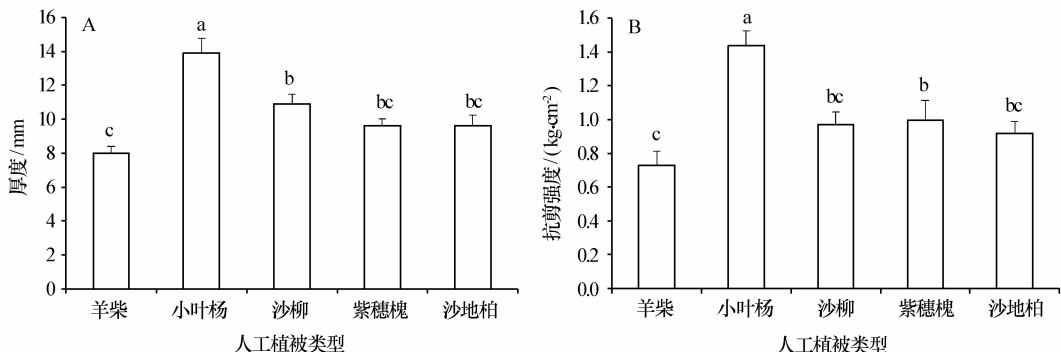


图 1 生物结皮厚度和抗剪强度变化(数字为平均值±标准误, $n=20$;不同小写字母代表各样地在 0.05 水平上的显著性差异)

Fig. 1 Changes of thickness and shear strength of biological crusts

结皮的抗剪强度有差异。小叶杨样地生物结皮抗剪强度最高, 显著高于其他类型人工植被区 ($P < 0.05$)。紫穗槐样地生物结皮抗剪强度显著高于羊柴样地 ($P < 0.05$), 但与沙柳和沙地柏样地之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 生物结皮盖度变化

不同类型人工植被区生物结皮总盖度有差异 (图 2)。小叶杨样地生物结皮的总盖度最高, 沙柳样地生物结皮的总盖度最低, 羊柴、紫穗槐和沙地柏样地生物结皮总盖度介于上述两个样地之间。小叶

杨和紫穗槐样地生物结皮总盖度显著高于沙柳样地 ($P < 0.05$); 根据结皮层优势生物组分, 研究区生物结皮类型大体可分为藻类和藓类结皮, 前者微鞘藻 (*Microcoleus vaginatus*)、颤藻属 (*Oscillatoria* spp.)、鞘丝藻属 (*Lyngbya* spp.) 占优势, 后者双色真藓 (*Bryum dichotomum*), 真藓 (*Bryum argenteum*), 土生对齿藓 (*Didymodon vinealis*) 占优势。沙地柏和紫穗槐样地藻类结皮盖度显著高于沙柳样地 ($P < 0.05$), 小叶杨样地藓类结皮盖度显著高于其他类型人工植被区 ($P < 0.05$); 小叶杨样地生物结皮以藓类结皮为主, 紫穗槐和沙地柏样地则以藻

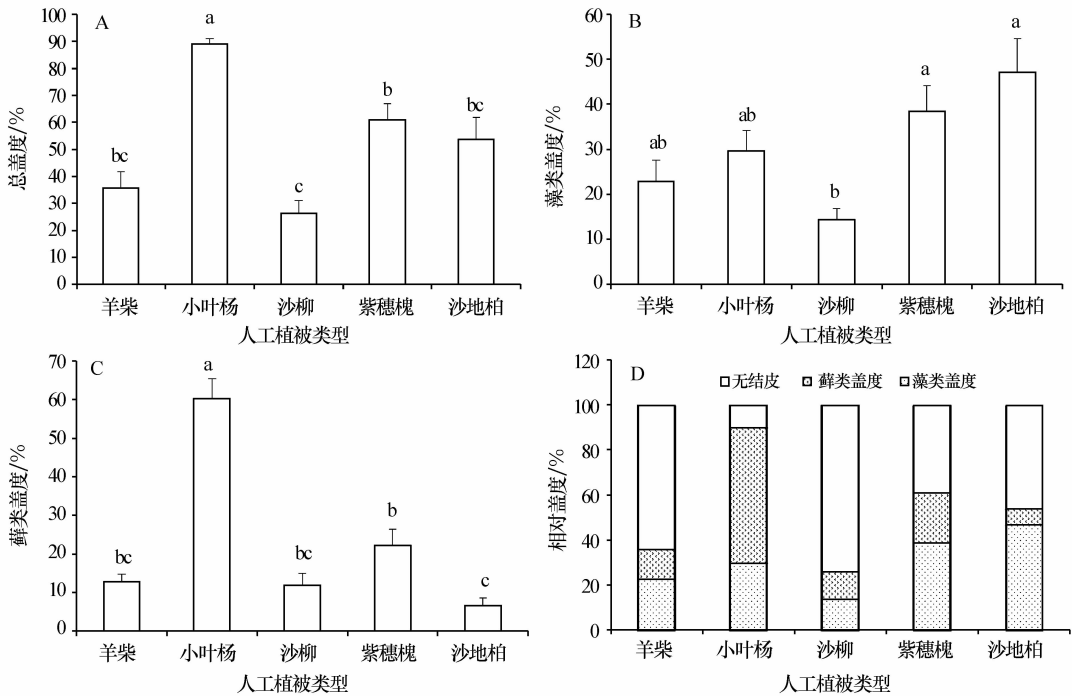


图 2 生物结皮总盖度、藻类盖度、藓类盖度和相对盖度 (数字为平均值±标准误, $n=20$; 不同小写字母代表各样地在 0.05 水平上的显著性差异)

Fig. 2 Coverage of biological crusts, coverage of algae crusts, coverage of mosses crusts and relative coverage of biological crusts

类结皮为主。

2.3 生物结皮盖度与植被盖度和表土含水量之间的关系

生物结皮盖度随植被盖度的增加呈减少的趋势 (图 3)。当植被盖度在 30% 左右时, 生物结皮得到较好发育, 而植被盖度超过 40% 时生物结皮发育程度和盖度均不及前者 (表 1, 图 1、2)。藻类、藓类结皮盖度均随着植被盖度的增加呈减少趋势。生物结皮总盖度随表土含水量的增加而增加, 说明表层土壤水分是影响生物结皮发育和分布的重要环境因子。藓类结皮盖度随表层土壤含水量的增加趋势较

藻类结皮的增加趋势明显。

3 讨论

截止 2011 年底, 中国沙化土地面积为 173.11 万 km^2 。经过几十年的防沙治沙和生态修复, 沙化土地发展趋势整体得到遏制, 但局部恶化趋势依然很严峻^[1]。长期以来, 种植人工植被是退化生态系统恢复重建的最主要措施之一^[5,12]。种植人工植被能提高退化土壤的生物活性、增加土壤养分、改善土壤的理化属性和土壤环境, 植被种植 3~5 年后地表开始出现生物结皮^[5,9]。人工植被建植 50 年以后, 腾格里沙漠沙坡头地区地表藓类结皮盖度普遍能够

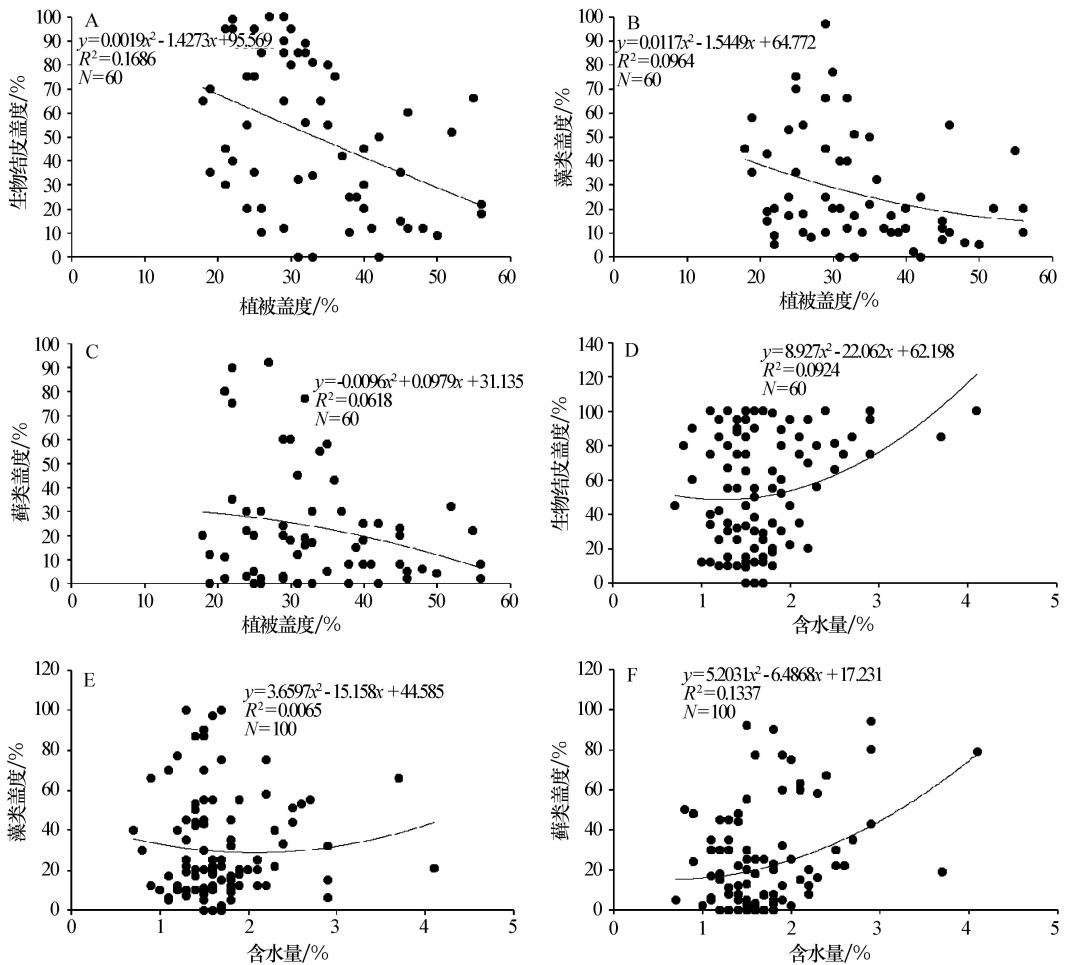


图 3 生物结皮盖度与环境因子之间的关系

Fig. 3 Relationship between coverage of biological crusts and environmental factors

达到 40%~60%，水热条件相对好的低洼区域藓类结皮盖度 80%以上，随着固沙植被的演替，生物结皮的发育表现出较明显的演替序列^[5,7]。我们在毛乌素沙地南缘不同类型人工植被区生物结皮的调查结果表明，人工植被的建植有利于生物结皮的发育，流沙被植物固定后沙丘表面开始扩殖生物结皮，但不同类型人工植被区生物结皮的发育程度有所差异。建植 40 年的小叶杨样地无论在结皮厚度、抗剪强度和生物结皮盖度上均显著高于其他类型人工植被区，建植 40 年的沙柳样地中生物结皮发育程度不及小叶杨样地，生物结皮盖度甚至不及植被恢复年限较晚的紫穗槐和沙地柏样地（表 1、图 2），说明小叶杨的建植有利于生物结皮的发育，而沙柳行带内种植羊柴则不利于生物结皮的扩殖。

影响生物结皮形成和发育的因素包括土壤质地、植物盖度、水分条件等^[2-3,13]。植物在生物结皮的形成和发育过程中发挥着决定性的作用，细颗粒物含量则是结皮形成和发育的物质基础^[5]。研究区

裸沙机械组成以细沙为主，并含有较丰富的极细沙，为生物结皮的形成和发育提供了物质基础^[11]。植被在沙丘表面定植后，一方面改变其周边的气流结构，降低风速，增加地表的稳定性，为生物结皮的形成提供稳定的外界条件^[14-15]；另一方面，灌丛等植物体通过捕尘和滞尘等方式向地面输入和积累细颗粒物，增加地表的细颗粒物含量，为生物结皮的发育提供物质基础和养分条件^[16]。研究区小叶杨样地虽然植被总盖度较低（表 1），但小叶杨植株体高于其他灌丛植被，行带式布置的小叶杨群落大大增加了地表的稳定性，能够为生物结皮的扩殖提供有利环境^[14-15]，促进生物结皮的发育。沙地柏群落虽然植物体较低矮，但其植株体多以匍匐型生长，贴地生长的植物形态特征提供了较稳定的地表环境，有利于生物结皮的扩殖。尽管生物结皮的扩殖与维管束植物的关系密切，但两者之间的关系不能用简单的线性关系来描述。我们发现，羊柴和沙柳样地植被盖度最高（表 1、图 3），但该样地生物结皮的发育程

度较低或分布较有限,生物结皮发育程度不及植被盖度较低的小叶杨样地,说明植被盖度与生物结皮分布之间可能存在一种竞争关系。本次调查发现,当植被盖度超过40%时生物结皮的发育和分布受到维管束植物的竞争而受到限制(表1),而这一值在不同区域有差异。黄土丘陵区的研究结果表明,当植被盖度低于60%时生物结皮盖度基本随植被盖度的增加而增加,而植被盖度超过60%时生物结皮盖度呈减少的趋势^[17],与我们在干旱沙漠地区的研究结果有所不同。生物结皮盖度与植被盖度之间的竞争关系可能是由于植被盖度较低时水热条件较好,有利于生物结皮的发育,而植被盖度较高时由于地表的生物结皮能够受到的光照等资源不及维管束植物而其分布受到限制,两者之间呈现“此消彼长”的格局^[8]。

土壤水分是影响生物结皮形成和发育的另一因素^[18]。已有研究表明,植物通过遮阴等方式改变地表光照时间而造成地表土壤水分分布格局的差异,尤其是植株形态特征较大的灌丛植物或乔木^[19]。生物结皮盖度与地表含水量之间的相关分析结果进一步说明了表土含水量对生物结皮分布的影响(图3)。小叶杨植物植物体较高,与其他低矮的灌丛植物相比对光照的遮挡时间更长,而且遮挡面积更大,从而减少地表蒸发而有利于地表土壤水分的保持,影响地表土壤水分的空间分布格局。喜欢相对湿润环境的藓类植物在小叶杨样地得到了较好的发育^[10]。沙柳和羊柴样地植被盖度较高,与小叶杨和沙地柏样地相比,草本植物盖度也比较高,浅根系的草本植物对表层土壤水分含量的影响更明显,造成该样地表层土壤水分含量较低,从而可能影响了生物结皮的分布。

综上所述,不同类型人工植被区生物结皮的发育特征存在较大差异,在小叶杨样地生物结皮得到良好发育,羊柴和沙柳样地虽然发育了生物结皮,但发育程度和盖度均较低。需要说明的是,在研究区相邻地区的相关报道中,栽植沙柳后地表普遍发育了良好的生物结皮,与我们的本次的调查结果有所不同^[20]。可能的原因是:本次调查的沙柳样地的行带内补植了羊柴,混合建植后的高盖度植被可能与生物结皮争夺水热资源而抑制了生物结皮在该样地的发育和扩殖。除此之外,尽管我们通过地面调查丰富了对不同类型人工植被与生物结皮发育特征之间相互关系的认识,但植物对生物结皮发育的影响是非常复杂的过程,灌丛植物构型特征差异可能是

不同类型植物影响生物结皮发育的重要因素,后期开展相关机理性的研究是很有必要的。另外,尽管栽植小叶杨的确有利于生物结皮的扩殖,但在防沙治沙实践中大面积推广小叶杨是否适合还需基于水量平衡的相关研究,只有小叶杨等植物生长不受水分条件限制才能得出更加科学的结论。

参考文献:

- [1] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报[R]. 2011.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Li X R, Wang X P, Li T, et al. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35: 147-154.
- [5] 李新荣. 荒漠生物土壤结皮生态与水文学研究[M]. 北京:高等教育出版社,2012:47-50.
- [6] Zhao Y, Zhang P, Hu Y G, et al. Effects of re-vegetation on herbaceous species composition and biological soil crusts development in a coal mine dumping site[J]. Environmental Management, 2016, 57: 298-307.
- [7] 李守中,郑怀舟,李守丽,等. 沙坡头植被固沙区生物结皮的发育特征[J]. 生态学杂志,2008,27(10):1675-1679.
- [8] 王一贺,赵允格,李林,等. 黄土高原不同降雨量带退耕地植被-生物结皮的分布格局[J]. 生态学杂志,2016,36(2):377-386.
- [9] Zhang J, Liu G B, Xu M X, et al. Influence of vegetation factors on biological soil crust cover on rehabilitated grassland in the hilly Loess Plateau, China[J]. Environmental Earth Science, 2013, 68: 1099-1105.
- [10] 张朋,卜崇峰,杨永胜,等. 基于CCA的坡面尺度生物结皮空间分布[J]. 生态学报,2015,35(16):5412-5420.
- [11] 吴永胜,哈斯,屈志强. 生物土壤结皮在沙丘不同地貌部位选择性分布的风因子讨论[J]. 中国沙漠,2011,32(4):980-984.
- [12] 高国雄. 毛乌素沙地东南缘人工植被结构与生态功能研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [13] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semiarid regions[J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.
- [14] 王蕾,王志,刘连友,等. 沙柳灌丛植株形态与气流结构野外观测研究[J]. 应用生态学报,2005,16(17):2007-2011.
- [15] 杨文斌,卢崎,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实验[J]. 中国沙漠,2007,27(5):791-796.
- [16] 赵哈林,郭铁瑞,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.
- [17] 卜楠. 陕北黄土区生物土壤结皮水土保持功能研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.

- [18] Lan S B, Wu L, Zhang D L, et al. Analysis of environmental factors determining development and succession in biological soil crusts[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 538: 492–499.
- [19] Kidron G J, Barzilay E, Sachs E, et al. Microclimate control upon sand microbiotic crust, western Negev Desert, Israel[J]. *Geomorphology*, 2000, 36: 1–18.
- [20] 周小泉, 刘政鸿, 杨永胜, 等. 毛乌素沙地三种植被下苔藓结皮的土壤理化效应[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(6): 340–344.

Development Characteristics of Biological Crusts under Artificial Vegetation in Southern Mu Us Sandy Land

Wu Yongsheng¹, Yin Ruiping¹, Tian Xiumin¹, Hasi²

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resource of China, Hohhot 010020, China; 2. College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Widespread biological crusts have been developed at the dune surface after implementation of desertification control and ecological rehabilitation projects in the sandy area in Northern China. Clarifying the relationships between characteristics of biological crusts development and different types of artificial vegetation has significant influence on the ecological rehabilitation of damaged ecosystem. Thicknesses, shear strength, coverage of biological crusts were examined under different types of artificial vegetation (*Hedysarum mongdicum*, *Populus simonii*, *Salix psammophila*, *Amorpha fruticosa* and *Sabina vulgaris*) in southern Mu Us sandy land by field investigation methods. The results showed that characteristics of biological crusts development under different vegetation types varied greatly. Thicknesses, shear strength, coverage of biological crusts under *P. simonii* site significantly higher than other sites ($P < 0.05$). Coverage of biological crusts under *H. mongdicum* and *S. psammophila* site was lower relatively. *P. simonii* site were dominated by mosses crusts while the other sites were dominated by algae crusts. Correlation analysis indicated that coverage of biological crust decreased with increasing of vegetation cover, increasing with surface (0–5 cm) water contents of soil. These results suggest that plantation of *P. simonii* is recommended for establishment of biological crust, and plantation of *S. psammophila* with *H. mongdicum* is not conducive to development of biological crusts.

Key words: biological crusts; artificial vegetation; Mu Us sandy land; environmental factors.