

# 沙漠苔藓生物结皮层物理特征研究

闫德仁, 黄海广 (内蒙古林业科学研究院, 内蒙古呼和浩特 010010)

**摘要** [目的]研究适宜的方法测定苔藓结皮层物理性指标,并进一步评价其对生物结皮层物理性能的评价。[方法]在借鉴相关土壤物理特性指标测定方法的基础上,采用差减法、室内浸泡法、链条法分别测定了苔藓生物结皮层的容重、吸水速率、生物量及其持水特征和表面糙度等。[结果]苔藓生物结皮层容重为  $0.95\text{ t/m}^3$ ,对照纯沙土为  $1.52\text{ t/m}^3$ ;苔藓生物结皮层吸水  $2\text{ min}$  时其吸水速度为  $0.23\text{ g/(g}\cdot\text{min)}$ ,吸水  $60\text{ min}$  时其吸水速度仅为  $0.01\text{ g/(g}\cdot\text{min)}$ ;苔藓结皮层表面糙度为  $5.0$ ,藻类结皮层表面糙度为  $11.2$ ;苔藓生物结皮层生物体干重为  $689.69\text{ g/m}^2$ ,植物体持水量为  $283.03\%$ 。[结论]该研究采用的相关测定方法不仅具有可操作性、简便等特点,而且测定结果能够客观反映沙漠苔藓生物结皮层特性指标,对指导生物结皮层物理性能研究具有参考意义。

**关键词** 生物土壤结皮;物理特征;表面糙度;测定方法;生物体干重

**中图分类号** S714.2 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)01-0077-03

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Study on Physical Property of Moss Bio- crust Layer in Desert Area

YAN De-ren, HUANG Hai-guang (Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot, Inner Mongolia 010010)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the suitable method for determining the physical index of moss crust layer and further evaluate its evaluation of the physical properties of the biological crust layer. [Method] Based on the determination method of the soil physical property index, the weight loss method, soaking method and chain method were used to determine the bulk density, water absorption rate, biomass, water holding characteristics and surface roughness of the moss crusts. [Result] The bulk density of moss crusts was  $0.95\text{ t/m}^3$  and the control sandland was  $1.52\text{ t/m}^3$ . The water absorption rate of the moss crusts was  $0.23\text{ g/(g}\cdot\text{min)}$  during absorb water for  $2\text{ min}$  and  $0.013\text{ g/(g}\cdot\text{min)}$  during absorb water for  $60\text{ min}$ . The moss crusts surface roughness was  $5.0$ , the surface roughness of the algae crusts was  $11.2$ . The dry weight of the moss organism was  $689.69\text{ g/m}^2$  and the water holding capacity of moss crusts was  $283.03\%$ . [Conclusion] The relevant determination method in this paper not only has operability and simple features, but also the results could be objectively reflected physical properties of moss crusts in desert, which it has reference function for study on biological crust physical properties.

**Key words** Biological soil crusts; Physical properties; Surface roughness; Determination methods; Moss dry weight

沙漠生物结皮是沙漠地区最具特色的微自然景观,遍布于沙漠或荒漠地区,主要由藻类、地衣、苔藓、菌类等植物与土壤颗粒物相作用,在土壤表面形成的一层特殊表面结构。由于生物结皮在防风固沙、风沙土形成演化等方面扮演着重要的角色,近年来,国内有关科技人员进行了很多的研究<sup>[1-5]</sup>,但有关沙漠生物结皮层物理特性测定方法的研究一直滞后,并影响着对生物结皮层物理性能的评价。笔者在借鉴相关土壤物理特性指标测定方法的基础上,对如何测定苔藓结皮层物理性指标方法及苔藓结皮层物理特征进行了探讨。

### 1 资料与方法

**1.1 研究地概况** 研究地位于库布齐沙漠达拉特旗白土梁林场解放滩作业区,地理坐标为  $40^{\circ}21'30''\text{E}$ 、 $109^{\circ}50'30''\text{N}$ 。该区属中温带大陆性季风气候区,年平均降水量一般在  $360\text{ mm}$ ,年蒸发量平均  $2\,160\text{ mm}$ ,极端最高气温  $40.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温  $-34.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温  $3\,197.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,无霜期  $130\sim 140\text{ d}$ ,8级以上大风日数  $27\text{ d}$ ,扬沙日数  $58\text{ d}$ ,年平均风速  $3.3\text{ m/s}$ 。天然植物种主要有寸草草(*Carex duriuscula*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)

等,植被盖度为  $30\%\sim 60\%$ ,森林植被以人工林为主,主要树种为杨树(*Populus*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、沙柳(*Salix psammophila*)等。

样本采集样地为  $20$  年的杨树人工林,林分郁闭度  $0.3$ ,林内灌木树种有沙柳、小叶锦鸡儿。具体取样地点的草本植物盖度小于  $5\%$ 。林地内生物结皮类型主要为苔藓生物结皮和藻类生物结皮,其中苔藓生物结皮厚度  $0.75\sim 1.23\text{ cm}$ ,藻类生物结皮厚度小于  $0.3\text{ cm}$ 。

### 1.2 研究内容与方法

**1.2.1 生物结皮层容重特征。**通常苔藓结皮层厚度  $1\sim 2\text{ cm}$ ,且结皮层松脆,单独取原状结皮层样本比较困难,所以采用差减法测定其容重,具体测定方法如下。

选择表面相对平整的典型苔藓生物结皮样地,先喷少量水使结皮层湿润,再用环刀取原状苔藓结皮层(包括结皮层及其下面的风沙土)样本。修整后带回室内,放入烘箱中,  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干  $12\text{ h}$ ,取出测定环刀、风沙土和苔藓结皮层的总重量( $W_{\text{总}}$ ),然后取出结皮层并单独称重( $W$ ),同时将环刀内的风沙土抹平,从环刀内侧测定风沙土到环刀上边的深度( $h$ ),将环刀内风沙土倒出,并测定环刀重( $W_{\text{环}}$ ),用差减法计算风沙土重量( $W_{\text{沙}}$ ),并根据取出结皮层后环刀的深度变化,计算结皮层体积,并用如下公式计算苔藓结皮层容重。

$$\text{生物结皮层体积}(V)=100\times h/H \quad (1)$$

式中, $h$ 为环刀内侧测定的深度变化值, $\text{cm}$ ;  $H$ 为环刀总高度, $5\text{ cm}$ ;  $100$ 为所用环刀体积, $\text{cm}^3$ 。

$$\text{苔藓结皮层容重}=W/V \quad (2)$$

**基金项目** 国家自然科学基金项目(31560239);多伦生态站项目(2016-LYPT-DW-013)。

**作者简介** 闫德仁(1962—),男,内蒙古通辽人,研究员,博士,从事沙漠治理研究。

**收稿日期** 2018-09-03

式中, $W$  为环刀内苔藓结皮层重量,  $g$ ;  $V$  为环刀内苔藓结皮层体积,  $cm^3$ 。

该内容共采集 40 个重复样本,测定苔藓结皮层容重,同时探讨了结皮层厚度及其与容重的关系。

**1.2.2 生物结皮层吸水特征。**苔藓结皮层吸水速率测定使用室内浸泡法,即取完整的 1 块结皮层称重( $W_1$ ),然后将称重后的样品装入尼龙网袋,且有苔藓的一面朝下,放入容器中,加注 1 cm 深的清水,然后分别在吸水 2、5、10、20、30、60 min 取出 3 个重复样品,称重( $W_2$ ),用差减法测定其吸水量,并计算单位时间重量苔藓结皮层的吸水速度。具体公式计算如下:

$$\text{吸水速率}(U)=(W_2-W_1)/(W_1\times h)$$

(3)

式中, $U$  为吸水速率,  $g/(g\cdot min)$ ;  $W_2$  为吸水后结皮层重量,  $g$ ;  $W_1$  为吸水前结皮层重量,  $g$ ;  $h$  为结皮层吸水时间,  $min$ 。

**1.2.3 生物结皮层生物量及其持水特征。**在选定的样地,按照 20 cm×20 cm 规格采集苔藓生物结皮层 8 个重复样本,带回室内,用水浸泡并反复搓洗,使土壤脱落,然后放入 20 目筛中,反复用水冲洗至没有土壤为止,并将苔藓生物体中水分挤出,在 65 ℃ 烘箱中烘干 12 h,称重,并计算单位面积苔藓结皮层生物体重量。

苔藓生物体持水测定采用浸泡法。即取烘干的苔藓生物体称重( $W_1$ ),然后将称重后的样品装入尼龙网袋放入容器中,加注 2 cm 深的清水,吸水 12 h,取出吸水后的苔藓生物体,并悬挂在空中静置,当无水滴下时称量( $W_2$ ),然后计算苔藓生物体持水量。该测定内容共设置 5 个重复,其平均值作为分析结果。计算公式如下:

$$\text{苔藓生物体持水量}(W)=(W_2-W_1)/W_1\times 100\%$$

(4)

式中, $W$  为苔藓生物体持水量,%;  $W_2$  为吸水后苔藓生物体重量,  $g$ ;  $W_1$  为吸水前苔藓生物体重量,  $g$ 。

**1.2.4 生物结皮层表面糙度。**采用 Ali<sup>[6]</sup> 链条法测定生物结皮层表面糙度。具体测定方法是选定苔藓或藻类生物结皮样地,用 1 m 线绳( $L_1$ )平铺在样地上,用手从一端下压,使线绳在凹凸不平的生物结皮层上收缩前行,然后测定线绳两端的直线距离( $L_2$ )。每种生物结皮类测定 10 个重复。由于  $L_1$  和  $L_2$  的差异与粗糙程度密切相关,并用以下公式计算糙度。

$$C=(1-L_2/L_1)\times 100$$

(5)

式中, $C$  为生物结皮层表面糙度,无纲量;  $L_1$  为给定的线绳长度,  $m$ ;  $L_2$  为当线绳被置于一粗糙地表时,与在光滑平面比较,其水平长度缩短的距离,  $m$ 。  $L_2$  越小,其生物结皮层表面糙度越大。

**1.3 数据统计** 所有数据采用 SPSS 13.0 和 Excel 2003 软件进行统计分析。

2 结果与分析

**2.1 生物结皮层容重变化** 容重对生物结皮物理性质有直接影响,不仅影响其水分物理性质,而且也能够反映出生物结皮物质组成的特点。闫德仁等<sup>[7]</sup>测得的苔藓结皮层容重为 1.03  $t/m^3$ ,对照沙土为 1.47  $t/m^3$ ;而崔燕等<sup>[8]</sup>测定(蜡封

法测定)苔藓结皮层容重平均为 1.81  $t/m^3$ ,对照沙土为 1.50  $t/m^3$ 。显然,苔藓结皮层容重测定方法的差异对结果有明显的影响。

从差减法测定的结果(表 1)来看,苔藓结皮层容重最小,40 个测定样本的平均容重为 0.94  $t/m^3$ ,纯沙土为 1.52  $t/m^3$ ,结皮层和沙土总容重为 1.42  $t/m^3$ ,同时,从数据标准差看,苔藓结皮层容重的标准差较大,说明测定苔藓结皮层容重时测定样本数量非常重要。此外,苔藓结皮层主要是由沙、降尘和苔藓植物体及其假根组成,所以结皮层的容重不可能比纯沙土容重高。而崔燕等<sup>[8]</sup>的测定结果(1.81  $t/m^3$ )显然偏离了正常规律。

表 1 苔藓结皮层容重变化(差减法,  $n=40$ )

Table 1 The changes of bulk density for moss bio-crust ( difference subtraction,  $n=40$ )

$t/m^3$

| 项目<br>Item         | 结皮层<br>Moss crust | 沙土<br>Sand | 结皮层+沙土<br>Moss crust + Sand |
|--------------------|-------------------|------------|-----------------------------|
| 最大值 Maximum        | 1.27              | 1.64       | 1.56                        |
| 最小值 Minimum        | 0.60              | 1.35       | 1.21                        |
| 平均值 Average        | 0.94              | 1.52       | 1.42                        |
| 标准差 Std. Deviation | 0.162 5           | 0.071 4    | 0.095 3                     |

此外,从苔藓结皮层厚度和容重变化关系看(图 1),随着生物结皮层厚度的增加,其容重变化总体呈现线性降低的趋势( $R^2=0.702\ 5$ ),其原因可能与生物结皮层的物质组成成分有关。苔藓结皮层中单位体积内生物结皮层厚度增加其生物体成分也在增加,特别是苔藓植假根数量增加,而土壤成分相对减少,并导致苔藓结皮层容重降低。

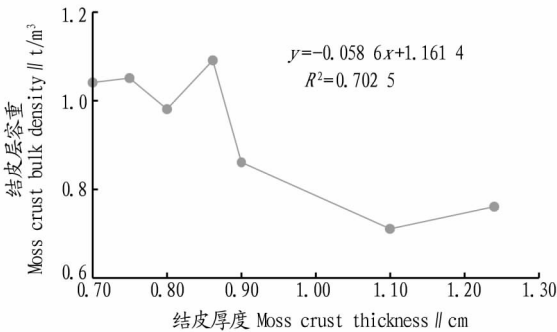


图 1 苔藓结皮层厚度、容重变化

Fig. 1 The changes of bulk density and thickness for moss bio-crust layer

**2.2 生物结皮层的吸水速率变化特征** 快速吸水生物结皮层最明显的水分特征,苔藓植物虽然个体较小,但常形成大片丛生或垫状群落,枝叶交错形成大量毛细孔隙,具有吸水快、蓄水量大的特点<sup>[9]</sup>。从图 2 可以看出,随着苔藓生物结皮层吸水时间的延长,其吸水速度急剧下降,并呈现出幂函数关系( $R^2=0.982\ 7$ )。吸水 2 min 时其吸水速度为 0.23  $g/(g\cdot min)$ ,吸水 60 min 时其吸水速度仅为 0.01  $g/(g\cdot min)$ 。因此,沙漠地区一旦降雨,生物结皮层将急速吸水,使其生长,并在一定程度上影响降雨的入渗过程,这种吸水特征反映出沙漠生物结皮层能够获取清晨露水中的

水分,并对生物结皮中水分的获得起着特殊的作用<sup>[10]</sup>。

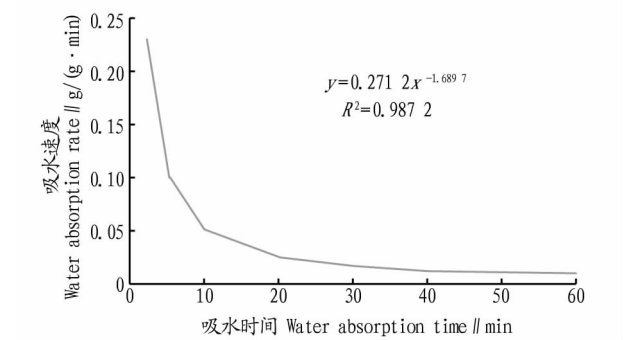


图2 苔藓结皮层吸水特征

Fig.2 The water absorption properties of moss bio-crust layer

**2.3 生物结皮层表面糙度变化** 沙漠地区不同生物结皮类型其表面凹凸不平,而表面糙度又是评价其抗风蚀能力的主要指标。从表2可以看出,生物结皮类型不同,其表面糙度差异明显,苔藓结皮层平均表面糙度为5.0,且数据标准差为1.414 2,而藻类结皮层平均表面糙度为11.2,且数据标准差为1.873 8。事实上,苔藓结皮层干燥的表面相对平滑,且结皮裂隙明显,形态各异;而藻类结皮层则表面凸起明显,类似“石林”形态,所以,藻类结皮层表面糙度较大。

表2 不同生物结皮层表面糙度值(n=10)

| Table 2 Roughness value of difference bio-crust layers (n=10) |                         |                          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 项目<br>Item                                                    | 苔藓结皮层<br>Moss bio-crust | 藻类结皮层<br>Alage bio-crust |
| 最大值 Maximum                                                   | 8.0                     | 14.0                     |
| 最小值 Minimum                                                   | 4.0                     | 9.0                      |
| 平均值 Average                                                   | 5.0                     | 11.2                     |
| 标准差 Std. Deviation                                            | 1.414 2                 | 1.873 8                  |

**2.4 生物结皮层生物量及其持水特征** 沙漠中的苔藓生物结皮不仅分布广,而且结皮层厚、细颗粒物含量高,抗风蚀和抗踩压能力强,同时苔藓植物作为活地被物层,其腐烂、分解和更新在生物地球化学循环中发挥着重要作用,且苔藓植物大部分属于外吸水型,虽然只有假根,但由于其很强的体表吸水能力、较大的表面积与体积比、大量的阳离子交换点和由于不发达的角质层而产生的对离子吸收很低的阻力,使苔藓能吸收大量的溶解于体表水中的矿质元素。因此,苔藓生物体对改善事物结皮层肥力水平具有积极作用,并在风沙土演化中扮演着重要角色。

从表3可以看出,苔藓结皮层生物体(含假根)生物量平均为689.68 g/m<sup>2</sup>,生物体持水量为自身干重的2.83倍。而川西亚高山人工云杉林下苔藓持水量平均为466.25%<sup>[9]</sup>,长白山暗针叶林苔藓植物平均含氮量为54.37 kg/hm<sup>2</sup>,含磷31.68 kg/hm<sup>2</sup>,含钾12.04 kg/hm<sup>2</sup><sup>[11]</sup>。因此,沙漠生物结皮的这些特性有着巨大的生态作用。例如,苔藓结皮能够很好地利用清晨露水,这与其吸水速度快有密切关系,同样,生物体持水量大可以有效拦截降雨,不会形成水土流失;而生物体在死亡和分解矿化的过程必然增加结皮层养分含量,促进结皮层肥力的形成并改善其物理性质。

表3 苔藓生物结皮生物体干重及其持水特征  
Table 3 Moss dry weight and water holding characteristics of moss bio-crust layer

| 项目<br>Item         | 生物体重量<br>Moss organism weight<br>g/m <sup>2</sup> | 生物体持水量<br>Water holding capacity<br>of moss organism/% |
|--------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 最小值 Minimum        | 479.00                                            | 222.27                                                 |
| 最大值 Maximum        | 1 036.75                                          | 366.80                                                 |
| 平均值 Average        | 689.68                                            | 283.03                                                 |
| 标准差 Std. Deviation | 222.33                                            | 65.89                                                  |

3 讨论与结论

沙漠生物结皮在防风固沙、风沙土形成演化等方面具有重要的作用。通常苔藓结皮层厚度在1~2 cm,用传统的环刀法几乎无法测定其物理特性。从现有文献看,不同研究者测定苔藓结皮层容重的差别很大。例如,崔燕等<sup>[8]</sup>采用蜡封法测定苔藓结皮层容重平均为1.81 t/m<sup>3</sup>,闫德仁等<sup>[7]</sup>采用铝合盖容积法测定苔藓结皮层容重为1.03 t/m<sup>3</sup>,所以,寻找适宜的方法测定苔藓结皮层容重等物理性指标就显得特别重要。同时,苔藓结皮层厚度、物理特性等指标对降雨入渗以及沙层水分变化具有重要影响。通常认为苔藓结皮层影响着小于10 mm降雨的入渗过程,导致降雨入渗的浅层化,并影响草本固沙植物的生长。此外,由于苔藓结皮层主要是由沙、降尘和苔藓植物体及其假根组成,所以苔藓结皮层的容重不可能比纯沙土容重(1.5~1.7 t/m<sup>3</sup>)高。而该研究采用不同测定方法测定了沙漠苔藓生物结皮层的物理特性,不仅方法简便、适用,可操作性强,而且取得了预期效果。

差减法测定苔藓结皮层容重为0.95 t/m<sup>3</sup>;链条法测定苔藓结皮层表面糙度为5.0,藻类结皮层表面糙度为11.2;苔藓生物结皮层生物体干重为6 900.3 kg/hm<sup>2</sup>,生物体持水量为其自身干重的2.83倍;浸泡法测定生物结皮层吸水2 min时其吸水速度为0.23 g/(g·min),吸水60 min时其吸水速度仅为0.01 g/(g·min)。这些优良的物理特性对生物结皮层肥力演变及其生态功能的提高具有积极作用。

参考文献

[1] 闫德仁,薛英英,赵春光. 沙漠生物结皮国内研究概况[J]. 内蒙古林业科技,2007,33(3):28-32.  
[2] 李守中,肖洪浪,李新荣,等. 干旱半干旱地区微生物结皮土壤水文学的研究进展[J]. 中国沙漠,2005,24(4):191-195.  
[3] 杜晓晖. 沙地地表结皮的研究[J]. 中国沙漠,1990,10(4):31-36.  
[4] 段争虎,刘新民,屈建军. 沙坡头地区土壤结皮形成机理的研究[J]. 干旱区研究,1996,13(2):31-36.  
[5] 郑云普,赵建成,张丙昌,等. 新疆古尔班通古特沙漠生物结皮层藓类物种多样性及适应性研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(1):316-319.  
[6] ALI SALEH. 用链条法测定地表糙度[J]. 水土保持科技情报,1995(1):14-15.  
[7] 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.  
[8] 崔燕,吕盼忠,李保国. 鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质[J]. 土壤,2004,36(2):197-202.  
[9] 叶吉,郝占庆,于德永,等. 苔藓植物生态功能的研究进展[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1939-1942.  
[10] 陈兰周,刘永定,宋立荣. 微鞘藻胞外多糖在沙漠土壤成土中的作用[J]. 水生生物学报,2002,26(2):157-159.  
[11] 郝占庆,叶吉,姜萍,等. 长白山暗针叶林苔藓植物在养分循环中的作用[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2263-2266.