

# 生物型凹凸棒基高分子固沙材料的复配效果

陶玲<sup>1,2</sup>, 曹田<sup>1</sup>, 吕莹<sup>1</sup>, 张文杰<sup>1</sup>, 任珺<sup>1,2</sup>

(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院/环境生态研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州坤仑环保科技有限公司, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 由于具有提高沙土的稳定性和保水性等特征, 复合高吸水性固沙材料在荒漠化土地治理方面具有一定的潜力和应用前景。研究了蓝藻结皮在不同比例凹凸棒基高分子固沙材料中的生长状态和生理特性。结果表明: 蓝藻结皮与经  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸改性后的凹凸棒基高分子固沙材料以 1 : 3 质量比配比生长情况最佳; 比较了复配材料喷洒量为  $400, 500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  处理下蓝藻叶绿素 a、丙二醛、可溶性蛋白及可溶性糖含量等生理指标, 喷洒量为  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的蓝藻结皮与经  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸改性后的凹凸棒基高分子固沙材料生理特性较好。

**关键词:** 蓝藻结皮; 凹凸棒; 固沙材料; 生理特性

**文章编号:** 1000-694X(2017)02-0276-05

**DOI:** 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2017. 00023

**中图分类号:** Q949. 22; TH145. 1+1

**文献标志码:** A

## 0 引言

土地沙漠化是当今世界面临的严重环境与社会经济问题。沙漠化土地的迅速扩展, 造成环境退化和巨大的经济损失, 使之成为全球广泛关注的热点。国内外都在研究防风固沙的有效方法, 物理或机械防治技术如高大沙障和机械阻沙技术、草方格固沙技术等在中国西部工程建设中已发挥了重要作用<sup>[1-3]</sup>。沙漠化土地治理过程中, 生物结皮的研究和应用已较为广泛, 但对防沙治沙的另一手段——生物型及高分子材料固沙技术(复合高吸水性固沙材料, 如将凹凸棒与生物结皮复配后作为固沙材料)的研究相对较少。

复合高吸水性材料固沙就是在沙质土地表层施用有机或无机化学材料, 以提高沙土的稳定性和保水性。复合高吸水性固沙材料不仅能提供防护高度, 而且能防止过境流沙, 还具有施工简便、成本低、见效快的特点, 迅速固定流沙, 可使流沙固定后能顺利地采取荒漠化治理的根本性措施——生物绿色工程措施, 从而提高生态环境工程建设的质量和效率<sup>[4-5]</sup>。中国自 20 世纪 80 年代开展了复合高吸水性固沙材料的研究工作, 复合高吸水性固沙材料因其特有的结构与性能而成为荒漠化治理的首选化学材料, 复合高吸水性固沙材料固沙效力显著(较普通

化学材料和黏土)<sup>[6]</sup>。本文根据蓝藻结皮和经  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸改性后的凹凸棒基高分子固沙材料以不同比例复配后的生长状态和生理特性, 探讨蓝藻结皮与凹凸棒基高分子固沙材料的最佳复配效果。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 蓝藻结皮的培养

2014 年 6 月, 采集自然蓝藻结皮, 根据腾格里沙漠沙地植被和地形的差异, 选择宁夏沙坡头孟家湾典型部位 ( $37^{\circ}26'46.9''\text{N}$ ,  $104^{\circ}50'11.2''\text{E}$ ), 利用 PVC 管(内径 10 cm, 高 5 cm)随机取样, 共采集 36 个蓝藻结皮样本, 取样深度 0~2 cm, 样本收存于封口塑料袋中带回备用。将蓝藻结皮用玻璃匀浆器研碎, 然后接种至 BBM 培养液, 放在培养箱中采用不同温度 ( $15, 20, 25, 30, 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 和不同光照强度 ( $40, 120, 240 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 进行培养, 光暗周期 12 h : 12 h。

#### 1.1.2 凹凸棒基高分子材料的制备

在氮气保护条件下, 将由  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸酸化的凹凸棒(兰州坤仑环保科技有限公司提供)与水在装有搅拌器、冷凝管、温度计及导气管的四口瓶中按

收稿日期: 2016-10-25; 改回日期: 2016-12-12

资助项目: 国家自然科学基金项目(31560234)

作者简介: 陶玲(1970—), 女, 甘肃靖远人, 教授, 主要从事污染生态学研究。E-mail: taoling@mail.lzjt.cn

通信作者: 任珺(E-mail: renjun@mail.lzjt.cn)

1:10的质量比配比,称取7.1 g 丙烯酰胺溶于20.0 mL 去离子水配成溶液,同时称取0.71 g 凹凸棒,将凹凸棒土与丙烯酰胺溶液混合均匀。加入引发剂过硫酸钾0.09 mg,再加入交联剂N-N'亚甲基丙烯酰胺0.06 mg,通氮除氧一段时间后在50 ℃水浴聚合3 h。聚合产物粉碎后称取8 g,加入1.5 mol·L<sup>-1</sup> NaOH溶液40.0 mL,升温至70 ℃皂化2 h后加入160.0 mL 去离子水搅拌均匀,即可得到凹凸棒基高分子材料的复合高吸水性材料。

## 1.2 蓝藻结皮与凹凸棒基高分子固沙材料的复配

将蓝藻结皮置于恒温干燥箱内,在30 ℃的条件下进行干燥处理,烘干程度以含水量80%为准<sup>[7]</sup>。将干燥后的蓝藻结皮与经4 mol·L<sup>-1</sup>硫酸改性后的凹凸棒按1:1、1:2、1:3、1:4的质量比复配成高分子固沙材料,每种比例的复配材料以固体的方式按400 g·m<sup>-2</sup>和500 g·m<sup>-2</sup>分别向沙面均匀喷洒,每天喷洒自来水3次,每7天喷洒1次BBM培养液以补充营养成分。蓝藻结皮在25 ℃、120 μE·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>的条件下光照培养,然后根据生长生物量的情况来确定蓝藻结皮与功能化凹凸棒的最佳配比。

## 1.3 蓝藻结皮与凹凸棒基高分子固沙材料最佳复配后生理特性的生物量的测定方法

叶绿素a含量的测定。参照Wintermans等<sup>[8]</sup>的方法。加入微量的石英砂、碳酸钙以及1.5 mL 95%的乙醇后研磨蓝藻结皮,用95%乙醇定容至5 mL,离心10 min(6 000 rpm),经过两次离心的蓝藻结皮用95%乙醇定容至25 mL,用分光光度计(英国UV-300)测定665 nm和649 nm的吸光度值,以 $13.95A_{665} - 6.88A_{649}$ 计算叶绿素a含量。

丙二醛(MDA)含量的测定。根据Fryer等<sup>[9]</sup>的方法测定,稍有改动。取蓝藻结皮0.5 g加入5 mL 5%的三氯乙酸和少量石英砂,研磨至匀浆,离心10 min(8 000 rpm)。取上清液2 mL,再加入2 mL 0.67%硫代巴比妥酸溶液。混合液在沸水浴中加热30 min,冷却至室温,离心。取上清液在532、600、450 nm处测吸光度值,计算公式 $MDA(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}) = 6.45(OD_{532} - OD_{600}) - 0.56OD_{450}$ 。

可溶性蛋白含量的测定。参照李合生<sup>[10]</sup>的方法,略有改动。取0.3 g 蓝藻结皮,加5 mL 蒸馏水研磨,离心10 min(8 000 rpm),取上清液1.0 mL加入具塞试管中,再加5 mL 考马斯亮蓝G-250溶液,充分混合,放置2 min,在595 nm处测吸光度

值,以0~100 μg·mL<sup>-1</sup>牛血清白蛋白作标准曲线。

可溶性糖含量的测定。参照李合生<sup>[10]</sup>的方法,略有改动。取0.2 g 蓝藻结皮,放入带塞刻度试管中,加入10 mL 蒸馏水,在沸水中加热30 min,提取2次,提取液过滤后置入25 mL 容量瓶中,反复漂洗残渣,定容。取0.5 mL 提取液,然后向试管中加入0.5 mL 蒽酮乙酸乙酯和5 mL 浓硫酸,充分振荡,将试管放入沸水浴中,保温1 min,冷却至室温,在630 nm测吸光度值,以0~100 μg·mL<sup>-1</sup>蔗糖作标准曲线。

## 1.4 数据分析

以上各指标的测定均取3份平行样品。试验所得数据用平均值±标准偏差表示,采用SPSS 19.0统计软件进行两独立样本的t检验,设置检验水准为0.05,采用Origin 8.0进行图表制作。

## 2 结果

### 2.1 蓝藻结皮与凹凸棒基高分子固沙材料的最佳复配比的确定

经过50 d的生长发育,沙面已经具有初步的结皮表观形态特征。1:3处理下形成的结皮pH值、厚度和干重与其他质量比形成的结皮都存在显著差异(表1,图1)。因此,在以后的试验中选用1:3配比。

### 2.2 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料的叶绿素a含量的变化

在25 ℃、120 μE·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、蓝藻结皮与4 mol·L<sup>-1</sup>硫酸改性后的凹凸棒基高分子材料的质量比为1:3的条件下,随着时间的延长叶绿素a含量逐渐升高( $P < 0.05$ ),喷洒量为400 g·m<sup>-2</sup>组的叶绿素a的含量低于喷洒量为500 g·m<sup>-2</sup> D组的叶绿素a含量(图2)。

### 2.3 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料的MDA含量的变化

在25 ℃、120 μE·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、蓝藻结皮与4 mol·L<sup>-1</sup>硫酸改性后的凹凸棒基高分子材料的质量比为1:3的条件下,随着时间的延长,MDA含量增大( $P < 0.05$ ),500 g·m<sup>-2</sup>组第2~3天MDA含量变化不大,400 g·m<sup>-2</sup>组第2~4天MDA含量变化不大。喷洒量为500 g·m<sup>-2</sup>的MDA的含量始终低于喷洒量为400 g·m<sup>-2</sup>组(图3)。

表 1 蓝藻结皮的发育特征(生长 50 d)

Table 1 Development characteristics of cyanobacterial soil crust (cultured for 50 days)

喷洒量 /(g·cm <sup>-2</sup> )	复配比例	结皮颜色	结皮形状	结皮 pH 值	结皮厚度 /mm	结皮干重 /(g·cm <sup>-2</sup> )
400	1:1	浅绿色	光滑平坦	7.79	0.38±0.022	0.028±0.008
	1:2	深绿色	光滑平坦	7.63	0.42±0.032	0.031±0.007
	1:3	深绿色	光滑凹凸	7.39	0.56±0.019	0.048±0.005
	1:4	深绿色	光滑凹凸	7.52	0.49±0.028	0.040±0.005
500	1:1	深绿色	光滑平坦	7.67	0.42±0.012	0.031±0.008
	1:2	浅绿色	光滑平坦	7.65	0.46±0.012	0.036±0.006
	1:3	深绿色	光滑凹凸	7.09	0.62±0.029	0.064±0.003
	1:4	深绿色	光滑凹凸	7.30	0.50±0.018	0.041±0.004

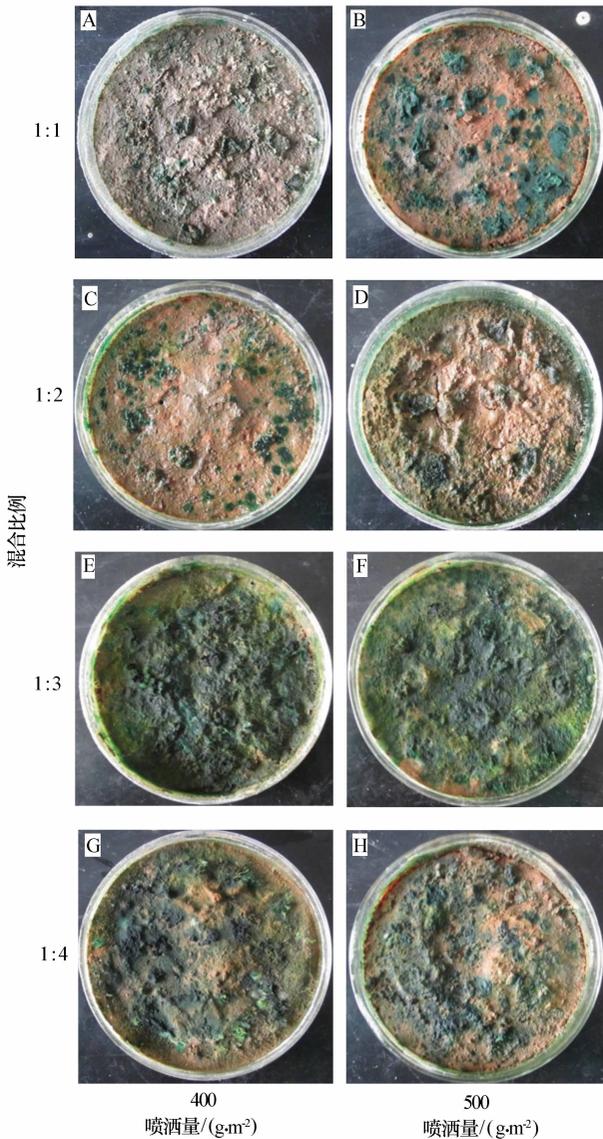


图 1 蓝藻结皮与凹凸棒基高分子固沙材料以不同质量比复配后生长 50 天的情况

Fig. 1 The growth of cyanobacterial soil crusts in the 50th day

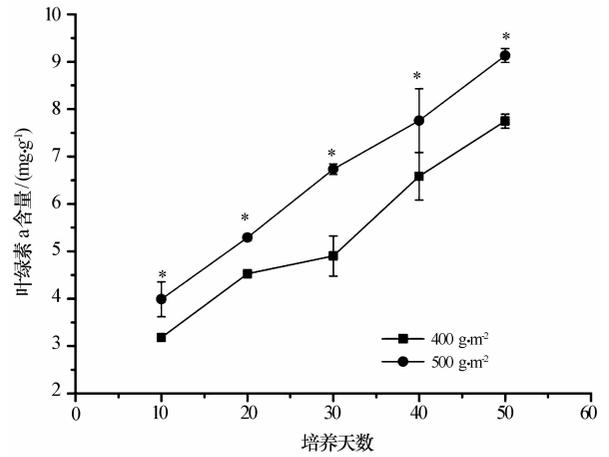
图 2 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料叶绿素 a 含量的变化(\*表示差异显著,  $P < 0.05$ )

Fig. 2 Changes of chlorophyll a contents from cyanobacterial soil crusts combined with sand-fixation polymer material based on attapulgite

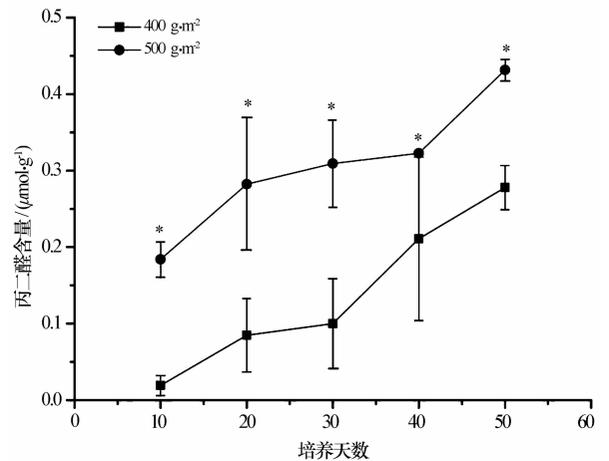
图 3 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料 MDA 含量的变化(\*表示差异显著,  $P < 0.05$ )

Fig. 3 Changes of MDA contents from cyanobacterial soil crusts combined with sand-fixation polymer material based on attapulgite

### 2.4 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料的可溶性蛋白的变化

在 25 °C、120 μE · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>、蓝藻结皮与 4 mol · L<sup>-1</sup> 硫酸改性后的凹凸棒基高分子材料的质量比为 1 : 3 的条件下,随着时间的延长,可溶性蛋白的含量明显增加 ( $P < 0.05$ ),喷洒量为 400 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性蛋白的含量始终低于喷洒量为 500 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性蛋白的含量(图 4)。

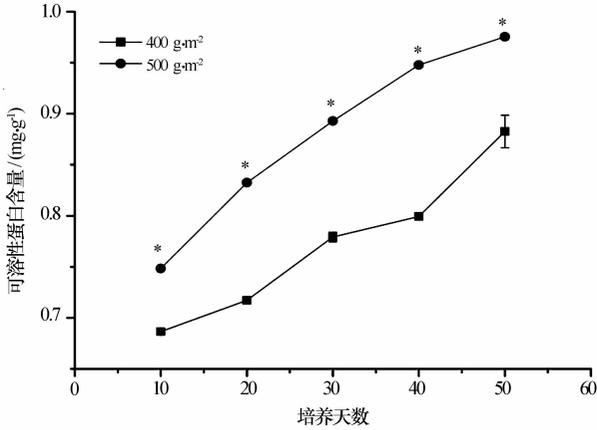


图 4 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料可溶性蛋白含量的变化 (\* 表示差异显著,  $P < 0.05$ )  
Fig. 4 Changes of soluble protein contents from cyanobacterial soil crusts combined with sand-fixation polymer material based on attapulgite

### 2.5 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料的可溶性糖含量的变化

在 25 °C、120 μE · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>、蓝藻结皮与 4 mol · L<sup>-1</sup> 硫酸改性后的凹凸棒基高分子材料的质量比为 1 : 3 的条件下,随着时间的延长,可溶性蛋白的含量明显增加 ( $P < 0.05$ ),喷洒量为 400 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性糖的含量始终低于喷洒量为 500 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性糖的含量(图 5)。

## 3 讨论

在沙漠地区,生物结皮不仅具有抗风蚀、水蚀、改善风沙方面的较强优势,而且在干旱荒漠地区植被演替、促进风沙演化中扮演着重要的角色。凹凸棒是一种晶质的水合镁铝硅酸盐矿物,具有独特的链层状晶体结构,该结构赋予凹凸棒土许多独特的物理化学性质,主要包括吸附性、载体性、催化性、可塑性和流变性等。

叶绿素是绿色植物体内的基本色素,在光合作用的光能吸收、传递和转化中起不可或缺的作用<sup>[11]</sup>。

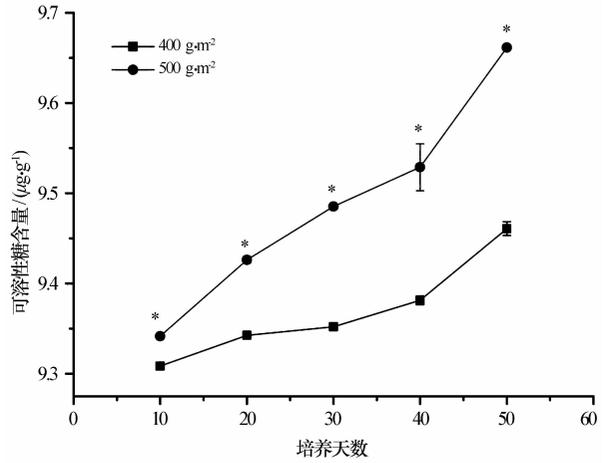


图 5 蓝藻结皮复配凹凸棒基高分子固沙材料可溶性糖含量的变化 (\* 表示差异显著,  $P < 0.05$ )  
Fig. 5 Changes of soluble sugar contents from cyanobacterial soil crusts with combined with sand-fixation polymer material based on attapulgite

在温度和光照一定的条件下,随着时间的延长,蓝藻结皮的叶绿素 a 含量逐渐升高 ( $P < 0.05$ ),喷洒量为 400 g · m<sup>-2</sup> 组的叶绿素 a 的含量低于喷洒量为 500 g · m<sup>-2</sup> 组的。叶绿素含量的大小可直接反映植物光合能力的强弱,同时叶绿素含量的大小受环境因素影响。

MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,因此可以通过测定 MDA 了解膜脂氧化的程度,以间接测定膜系统受损程度及植物的生长情况,其含量高低可以作为考察细胞受到胁迫严重程度的指标之一<sup>[12-14]</sup>。MDA 的主要伤害是导致膜脂过氧化,损伤生物膜结构,主要是细胞质膜,使得细胞膜结构和功能上受到损伤,改变膜的通透性,从而影响一系列生理生化反应的正常进行。本试验中,在温度和光照一定的条件下,随着时间的延长,蓝藻结皮的 MDA 含量逐渐升高 ( $P < 0.05$ ),喷洒量为 500 g · m<sup>-2</sup> 组的 MDA 的含量低于喷洒量为 400 g · m<sup>-2</sup> 组的 MDA 含量。MDA 含量的高低表示细胞膜脂过氧化程度,MDA 含量越低说明植物受胁迫越小,MDA 升高说明植物细胞膜发生严重氧化损伤<sup>[12-14]</sup>。

可溶蛋白质含量的提高,会增加细胞渗透浓度和功能蛋白的数量,有助于维持细胞正常代谢,植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类<sup>[12-13]</sup>。在温度和光照一定的条件下,随着时间的延长,蓝藻结皮的可溶性蛋白的含量逐渐升高 ( $P < 0.05$ ),喷洒量为 400 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性蛋白的含量低于喷洒量为 500 g · m<sup>-2</sup> 组的可溶性蛋白的含量。可溶性蛋白质含量是一个重要的生理生化指

标,测其含量是了解植物体总代谢的一个重要指标,可溶性蛋白是重要的渗透调节物质和营养物质,他们的增加和积累能提高细胞的保水能力,对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用<sup>[15-16]</sup>。

可溶性糖是植物光合作用的重要产物之一,也被认为是一种渗透调节物质,可以降低细胞的渗透势,维持压力势,保持和稳定大分子物质,减少水分流失,维持细胞正常功能,清除植物内源活性氧,对机体起保护作用<sup>[17]</sup>。可溶性糖是干旱胁迫诱导的小分子溶质之一,这些可溶性糖参与渗透调节反应,并可能在维持植物蛋白稳定方面起到重要作用<sup>[18]</sup>。在温度和光照一定的条件下,随着时间的延长,蓝藻结皮的可溶性糖的含量逐渐升高( $P < 0.05$ ),喷洒量为  $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  组的可溶性糖的含量低于喷洒量为  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  组的可溶性糖的含量。可溶性糖是高等植物的主要代谢产物之一,在植物体内的含量和种类及其丰富。可溶性糖在细胞中的功能是多方面的,作为代谢的中间产物或终产物调节了植物生长、发育、抗性形成等多个生理过程,糖分子可能以不同的浓度水平同时参与多种代谢调节。

#### 参考文献:

- [1] 王银梅,韩文峰,湛文武. 对在沙漠地区应用化学固沙剂固沙的探讨[J]. 灾害学,2003,18(4):1-5.
- [2] 鲍婧婷,王进,陈翠云. 固沙植被区生物土壤结皮中蓝藻群落的多样性[J]. 中国沙漠,2015,35(6):1592-1598.
- [3] 杨丽雯,周海燕,樊恒文,等. 沙坡头人工固沙植被生态系统土壤恢复研究进展[J]. 中国沙漠,2009,29(6):1116-1122.
- [4] 周明吉,周玉生,孙加量,等. 我国固沙材料研究及应用现状[J]. 材料导报,2012(26):332-334.
- [5] 韩彩霞,张炳昌,张远明,等. 古尔班通古特沙漠南缘苔藓结皮中可培养真菌的多样性[J]. 中国沙漠,2016,36(4):1050-

- 1055.
- [6] 严亮,杨久俊. 新型化学固沙材料的研究现状及其展望[J]. 材料导报,2009,23(3):51-54.
- [7] 赵卓. 民勤荒漠人工治理地区荒漠藻类分布组成和种质保藏的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2013.
- [8] Wintermans J, De Mots A. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their phenophytins in ethanol[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biophysics including Photosynthesis, 1965, 109(2): 448-453.
- [9] Fryer M J, Andrews J R, Oxborough K. Relationship between  $\text{CO}_2$  assimilation, photosynthetic electron transport, and active  $\text{O}_2$  metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature[J]. Plant Physiology, 1998, 116(2): 571-580.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:182-184.
- [11] 邵玺文,韩梅,韩忠明,等. 不同生境条件下黄芩光合日变化与环境因子的关系[J]. 生态学报,2009,29(3):1470-1477.
- [12] 刘丽丽,张文会,范颖伦,等. 不同剂量 UV-B 辐射对冬小麦幼苗形态及生理指标的影响[J]. 生态学杂志,2010,29(2):314-318.
- [13] 宋玉芝,孔繁璠,王敏,等. 光照强度及附植藻类对狐尾藻生理指标的影响[J]. 农业环境科学学报,2015,34(2):233-239.
- [14] 饶本强,黄斌,陈坤,等. 外源糖对爪哇伪枝藻低温胁迫耐受性的影响[J]. 信阳师范学院学报:自然科学版,2010,23(3):384-388.
- [15] 康俊梅,杨青川,樊奋成. 干旱对苜蓿叶片可溶性蛋白的影响[J]. 草地学报,2005,13(3):199-202.
- [16] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象,2015(1):59-62.
- [17] 吴沛沛,饶本强,郝宗杰,等. 高温培养条件下爪哇伪枝藻的生理特性和超微结构特征[J]. 水生生物学报,2012,36(4):735-743.
- [18] 杨东,张红,陈雨萍,等. 温度胁迫对 10 种菊科杂草丙二醛和可溶性糖的影响[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2007,30(3):391-394.

## Function of Biological and Sand-fixation Polymer Material Based on Attapulgite

Tao Ling<sup>1,2</sup>, Cao Tian<sup>1</sup>, Lv Ying<sup>1</sup>, Zhang Wenjie<sup>1</sup>, Ren Jun<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Institute of Environmental Ecology, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Lanzhou Kunlun Environmental Protection Co., Ltd. Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Due to its ability to improve sand stability and water retention, composite superabsorbent sand-fixation material was used in desertification control and restoration. The state of growth and physiological characteristics of cyanobacterial soil crusts, which were mixed with a sand-fixation material based on  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$  modified attapulgite with different mass ratio, were investigated. The results showed that the optimal ratio of cyanobacterial soil crusts to the sand-fixation material was 1 : 3. The content of chlorophyll (a), soluble protein and soluble sugar were higher when the concentration of the mixed material was  $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  in comparison to  $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ .

**Key words:** cyanobacterial soil crusts; attapulgite; sand-fixation material; physiological characteristics