

生物质磺酸钙对荒漠土壤的改良效果

陈亚兰¹, 保雄伟², 尹应武^{3*}, 苏建宇^{1*}

(1. 宁夏大学生命科学学院, 西部特色生物资源保护与利用教育部重点实验室, 银川 750021;

2. 西南大学化学化工学院, 重庆 400700; 3. 厦门大学化学化工学院, 厦门 361005)

摘要: 在实验室条件下, 研究了生物质磺酸钙对荒漠沙土的改良作用。结果表明, 沙土中添加 2% 生物质磺酸钙, 土壤中有机质、全氮、速效钾、速效磷含量和土壤持水量均显著增加 ($P < 0.05$), 土壤 pH 值由 8.4 下降至 7.6; 添加生物质磺酸钙室温放置 30 d 后, 土壤有机质含量略有下降, 速效磷、速效钾含量和电导率则显著增加 ($P < 0.05$), 全氮、持水量和 pH 变化不显著。生物质磺酸钙可促进土壤微生物生长, 添加生物质磺酸钙室温放置 30 d 后土壤细菌数量增加了 320%, 未添加生物质磺酸钙的土样中细菌数量仅增加 60%; 添加生物质磺酸钙室温放置 30 d 的处理土样在门、纲分类水平上物种数与对照相同, 但物种组成比例发生了改变。在目、科、属和种 4 个分类水平上处理土样物种数目多于对照, 表明添加生物质磺酸钙促进了原土样中丰度极低的微生物的生长, 使土壤微生物的多样性水平得到提高。

关键词: 生物质磺酸钙; 土壤改良; 土壤理化性质; 土壤微生物

中图分类号: S156.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)05-0853-06

Improving effect of biomass calcium sulfonate on desert soil

CHEN Yalan¹, BAO Xiongwei², YIN Yingwu³, SU Jianyu¹

(1. Key Lab of Ministry of Education for Protection and Utilization of Special Biological Resources in Western China, School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Xinan University, Chongqing 400700; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract: The effects of biomass calcium sulfonate on improving desert sandy soil were studied in this paper. The results showed that the soil organic matter, total nitrogen, available potassium, available phosphorus and soil water holding capacity increased significantly ($P < 0.05$), and soil pH decreased from 8.4 to 7.6 with the addition of 2% biomass calcium sulfonate. After adding the biomass calcium sulfonate into soil at ambient temperature for 30 days, the content of soil organic matter decreased slightly, while the contents of available potassium, available phosphorus and electrical conductivity increased remarkably ($P < 0.05$), meanwhile, the soil pH, field capacity and total nitrogen basically remained stable. Adding the biomass calcium sulfonate into soil for 30 days, the amounts of bacteria increased by 320%, while which only increased by 60% in the control. Number of species in the treated soil was the same as that in the control soil at the division and class levels, but with different species composition. However, the number of species in the treated soil was higher than that in the control soil at order, family, genus and species classification levels, which showed that biomass calcium sulfonate plays an important role in promoting the growth and biodiversity of microbes in soil.

Key words: biomass calcium sulfonate; soil improvement; soil physiochemical properties; soil microorganism

我国是世界上荒漠化最严重的国家之一^[1], 荒漠化土地面积达 $2.62 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 27%, 其中草场退化率和耕地退化率分别超过了

56%和 40%^[2-3], 荒漠化土壤改良是我国生态环境治理的一项重要内容。在退化土壤改良过程中, 微生物发挥了重要作用。土壤微生物能够促进土壤生物

收稿日期: 2019-01-23

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2017BY081)资助。

作者简介: 陈亚兰, 硕士研究生。E-mail: 1046593565@qq.com

* 通信作者: 苏建宇, 教授。E-mail: su_jy@nxu.edu.cn; 尹应武, 教授。E-mail: ywy@insight.net.cn

结皮的形成,改善土壤结构和营养条件,促进土壤理化性质的改良^[4],其群落结构及多样性特征也因此成为评价土壤质量的重要指标^[5]。

有机质含量低是荒漠化土壤所共有的特性,在这样的土壤环境中,微生物可利用的营养物质贫乏,造成微生物的生长受到限制,微生物对土壤的改良作用难以发挥。张占等研究发现,水稻秸秆还田并添加适量的腐秆剂后,土壤速效钾和全氮含量有明显增加^[6];李金林等利用林木枝条处理贫瘠土壤,不同处理方式均不同程度地提高了土壤微生物(细菌、放线菌和真菌)数量、氮含量和土壤酶(过氧化氢酶、脲酶)活性,增加了土壤中水分含量和土壤水稳性团聚体的比例,同时降低了土壤pH值^[7];沙金龙等将杨树、柳树纸条粉碎后混合覆盖沙化土壤,结果表明处理后的土壤中细菌丰富度及多样性明显优于对照^[8];地中海退化土壤分别以污泥和风化煤作为改良剂进行处理,在施用改良剂13年后,处理土壤的微生物多样性及群落结构与对照土壤依然存在显著差异^[9]。以上研究结果表明,废弃生物质施用于土壤中可以改善土壤性质,促进土壤微生物生长,是改良退化土壤的有效手段。

生物质磺酸钙是以作物秸秆、树木枝条等废弃生物质为原料,以SO₃/DCE体系磺化后经氢氧化钙中和得到的生物基硫酸单酯盐,其保持了纤维素、木质素本身的高分子结构,具备良好的水溶性和高分子胶粘性,pH 6.5左右,可被微生物完全利用^[10]。已有研究表明,生物质磺酸钙施用于荒漠化土壤后,可迅速粘结土壤颗粒,促进土壤表层形成结皮,有效防止风蚀。沙土表面以10 g·m⁻²用量喷施生物质磺酸钙,沙土可以抵御76 km·h⁻¹风速的侵蚀^[11]。生物质磺酸钙还可增加土壤有机质含量,改善土壤团聚体结构和养分供应能力,对改善植物根系生长环境有积极作用^[11]。因此,生物质磺酸钙在荒漠化土壤改良方面具有巨大的应用前景。

作者以荒漠沙土为供试材料,通过研究施加生物质磺酸钙后土壤性质与土壤微生物的变化情况,初步说明生物质磺酸钙在荒漠贫瘠土壤中的生态学效应,为利用生物质磺酸盐改良荒漠土壤提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

生物质磺酸钙水溶液:溶质含量40%,由北京紫光英力化工技术有限公司提供。溶质中全氮含量0.35%,有机质含量40%。

供试土样:土样取自于宁夏灵武市白芨滩国家级自然保护区的荒漠沙土。按照五点采样法每个点取垂直1~20 cm深的土样,自然风干,土样含水量为0.6%,过10目筛备用。

1.2 方法

土样处理:量取50 mL 生物质磺酸钙溶液(溶质含量20 g),加无菌水至160 mL,混匀。称取土样1 000 g,与生物质磺酸钙溶液充分混匀,使土壤中生物质磺酸钙含量为2%;另取1 000 g土样,直接加入160 mL无菌水,作为对照。

处理及对照土样分别分装至6个培养皿中,土样厚度为1.5 cm,4层纱布封口,室温条件下培养30 d。培养期间每隔48 h采用称重法补充无菌水,使土样含水量保持在最大持水量的60%。分别在第0天和第30天取样测定相关数据。

土壤细菌计数:平板计数法。

土壤养分测定:机质含量测定采用重铬酸钾容量法;全氮含量采用凯氏定氮法;全磷含量测定采用NaOH熔融-钼锑抗比色法;全钾含量的测定采用NaOH熔融-火焰光度法;有效磷NaCO₃浸提法;有效钾含量的测定采用火焰光度法^[18]。

土壤电导率和pH值测定:分别采用电导法和pH计法(土水比为1:5,25℃)

土壤持水量测定:烘干法^[12]。

土壤细菌群落结构分析:采用PE300测序平台对土样进行16s rDNA高通量测序及相关生物信息学分析。测序工作委托上海海美吉生物医药科技有限公司完成。

1.3 数据处理

实验数据用EXCEL 2010和SPSS软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 生物质磺酸钙对土壤养分性质的影响

荒漠土壤中添加2% (W/W)的生物质磺酸钙后,对其理化性质进行测定,并与原始土样进行对比,结果如表1。与原始土样相比,添加生物质磺酸钙的处理土样中有机质含量、全氮、全磷、速效磷、速效钾、电导率均显著增加($P<0.05$),pH值则由8.4下降至7.6,仅全钾含量和土壤持水量变化不显著。生物质磺酸钙以作物秸秆等废弃生物质为原料,经SO₃磺化为水溶性的生物质磺酸盐后,其原有的营养物质和高分子性质依然保留,施用于荒漠土壤后可有效改善土壤的理化条件,促进土壤的改良。

表 1 添加生物质磺酸钙后土样理化性质变化

Table 1 Changes of physicochemical properties of the soil containing calcium sulfonate

测定指标	Detection indices	原始土样	Original soil sample	处理土样	Treated soil sample
有机质/g·kg ⁻¹	Organic matter	10.15±0.012 ^b		10.87±0.058 ^a	
全氮/g·kg ⁻¹	Total nitrogen	0.15±0.027 ^b		0.216±0.048 ^a	
全磷/g·kg ⁻¹	Total phosphorus	0.18±0.021 ^b		0.35±0.014 ^a	
全钾/g·kg ⁻¹	Total potassium	19.8±0.13 ^a		19.0±0.15 ^a	
速效磷/mg·kg ⁻¹	Available P	1.3±0.012 ^b		30.4±0.58 ^a	
速效钾/mg·kg ⁻¹	Available K	66.0±1.30 ^b		400.0±7.60 ^a	
	pH	8.4±0.07 ^a		7.6±0.13 ^b	
电导率/μs·cm ⁻¹	Electrical conductivity	80±2.51 ^b		147±4.04 ^a	
持水量/%	Field capacity	23.7±0.81 ^a		24.4±0.90 ^a	

注: 数据为 3 个重复的均值±标准差; 表中同列不同字母表示同一土壤、同一时间不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: The data are mean values standard deviation of three replicates; different letters in the same column in the table indicate significant differences between different treatments in the same soil and at the same time ($P<0.05$). The same below.

表 2 添加生物质磺酸钙 30 d 后土壤性质变化情况

Table 2 Changes of soil indexes after adding biomass sulfonate for 30 days

测定指标	Detection indices	处理时间	
		0 d	30 d
有机质/g·kg ⁻¹	Organic matter	10.87±0.058 ^a	10.79±0.069 ^a
全氮/g·kg ⁻¹	Total nitrogen	0.216±0.048 ^a	0.221±0.083 ^a
速效磷/mg·kg ⁻¹	Available P	30.4±0.58 ^b	31.4±0.73 ^a
速效钾/mg·kg ⁻¹	Available K	400.0±7.60 ^b	562.1±9.6 ^a
	pH	7.6±0.13 ^a	7.5±0.12 ^a
电导率/μs·cm ⁻¹	Electrical conductivity	147±4.04 ^b	219±5.04 ^a
持水量/%	Field capacity	24.12±0.90 ^a	24.82±1.21 ^a

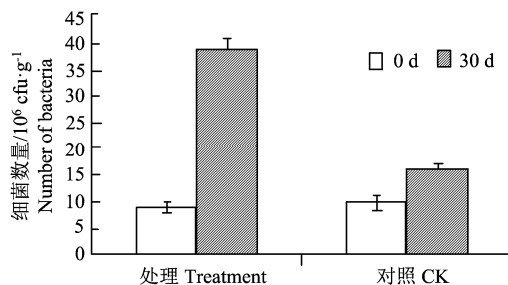


图 1 生物质磺酸钙对土样微生物数量的影响

Figure 1 Effect of biomass calcium sulfonate on soil microbial biomass

添加 2% (W/W) 生物质磺酸钙后, 将土样在室温条件下放置 30 d, 对土壤各项理化指标进行测定, 并与处理初始 (0 d) 测定结果 (即表 1 处理土样测定值) 进行比较。结果 (表 2) 表明, 室温条件下 30 d 后, 与初始测定值相比, 土样中有机质含量略有下降, 表明生物质磺酸钙中的纤维素、木质素等大分子有机物可作为土壤微生物的营养物质, 在被微生物分解、吸收、转化的同时, 微生物的呼吸作用造成了部分有机质的损失; 全氮含量无明显变化, 速效磷、速效钾含量则显著增加 ($P<0.05$), 说明生物质磺酸钙促进了土壤中解磷、解钾微生物的生长,

使土壤中不溶性的磷、钾溶解释出, 也因此使土壤电导率显著增加; 土壤的持水量没有明显变化, 说明土壤微生物在利用生物质磺酸钙作为营养物质生长的同时, 改善和维持着土壤的持水能力, 因此土壤持水量并未因生物质磺酸钙被微生物消耗利用而降低。

2.2 生物质磺酸钙对土壤微生物的影响

2.2.1 生物质磺酸钙对土壤微生物生物量的影响

对处理初始 (0 d) 和室温放置 30 d 后土样中细菌数量进行测定。结果 (图 1) 表明, 室温条件下 30 d 后, 处理土样细菌数量较第 0 天增加了 320%, 而未添加生物质磺酸钙的对照土样细菌数量较第 0 天仅增加 60%。该结果进一步说明生物质磺酸钙能有效促进土壤微生物的生长。

2.2.2 生物质磺酸钙对土壤微生物群落结构的影响

通过 16S rDNA 测序, 对添加生物质磺酸钙 30 d 后的土壤样品及对照样品中细菌进行不同分类学水平的信息分析。结果 (表 3) 显示, 处理组和对照组在门、纲两水平上数目相同, 处理组在目、科、属和种 4 个水平的数目稍多于对照组, 说明添加生物质磺酸钙后, 促进了原始土样中丰度极低而未被

检测到的微生物的生长，土壤微生物的多样性水平得到提高。

不同分类水平下处理组与对照组土样细菌相对丰度如图 2。添加生物质磷酸钙后，土样中微生物物种的相对丰度发生了明显变化，表明土壤中不同微生物对生物质磷酸盐的利用能力存在差异。

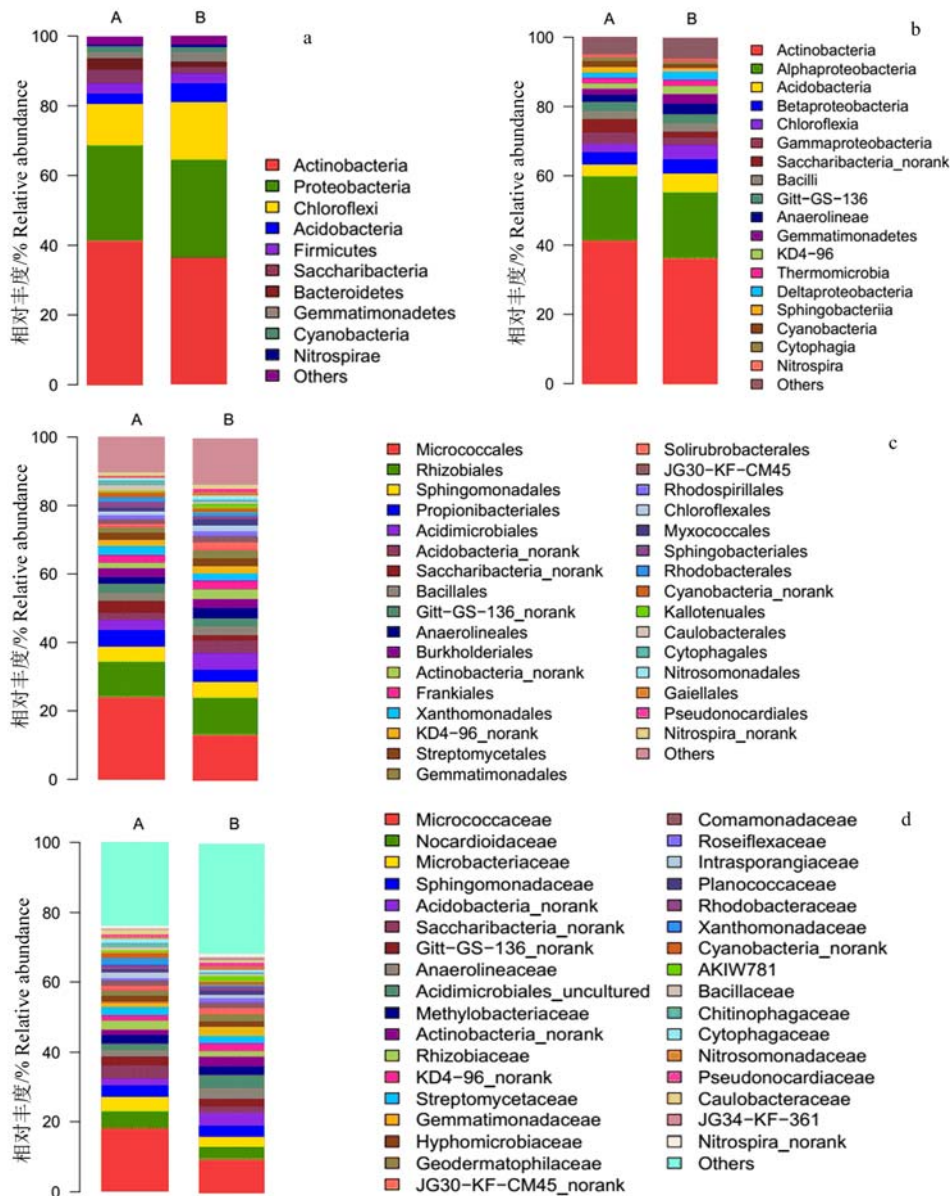
门水平上，处理组和对照组土样中

Actinobacteria（放线菌门）、Proteobacteria（变形菌门）、Chloroflexi（绿弯菌门）相对丰度均超过 10%（表 4）。处理组放线菌门相对丰度较对照组增加，而绿弯菌门相对丰度较对照组降低，变形菌门相对丰度基本未变，表明生物质磷酸钙有利于放线菌门细菌的生长。

表 3 不同分类水平上细菌群落组成

Table 3 Composition of bacterial communities at different levels of classification

土样 Soil sample	门 Phylu	纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
处理 Treatment	29	62	129	233	424	724
对照 Control	29	62	128	233	413	710



a、b、c 和 d 分别表示门、纲、目、科水平下细菌物种平均相对丰度

a, b, c and d represent the average relative abundance of bacterial species at the level of phylum, class, order and family, respectively

图 2 不同分类水平下细菌物种平均相对丰度

Figure 2 The average relative abundance of the bacterial at different taxonomic levels

表 4 门水平优势细菌类群相对丰度

土样 Soil sample	相对丰度/% Relative abundance		
	放线菌门 Actinobacteria	变形菌门 Proteobacteria	绿弯菌门 Chloroflexi
处理 Treatment	41.4	27.4	11.7
对照 CK	36.5	27.9	16.6

表 5 纲水平优势细菌类群相对丰度

土样 Soil sample	相对丰度/% Relative abundance	
	放线菌纲 Actinobacteria	α -变形菌纲 Alproteobacteria
处理 Treatment	41.4	18.7
对照 CK	36.45	19.1

纲水平上, 处理组和对照组土样中 Actinobacteria (放线菌纲) 和 Alproteobacteria (α -变形菌纲) 均占绝对优势 (表 5)。处理组放线菌纲较对照组增加, 而 α -变形菌纲较对照组略有降低, 表明生物质磺酸钙有利于放线菌纲细菌生长。

表 7 科水平优势细菌类群相对丰度

Table 7 Relative abundance of dominant bacteria groups in family

土样 Soil sample	相对丰度/% Relative abundance			
	微球菌科 Micrococaceae	类诺卡氏菌科 Nocardiodaceae	微杆菌科 Microbacteriaceae	
处理 Treatment	18.3	4.8	4.1	
对照 CK	9.8	3.7	2.8	

3 讨论与结论

土壤有机质作为土壤肥力的重要指标, 可以影响土壤的其他理化性质, 并直接影响土壤微生物的数量及群落结构。植物的凋落物、死亡的植物体及根系是自然状态下土壤有机质的主要来源。荒漠土壤植被类型多为强旱生木本植物, 植被覆盖率低, 其凋落物成分主要为纤维素、半纤维素和木质素的混合物。尽管大多数荒漠土壤微生物具有分解纤维素的能力, 但在木质纤维的晶体结构中纤维素受到木质素的保护, 酶解困难^[13], 导致木质纤维在土壤中降解周期长、利用率低。荒漠土壤中胡杨、怪柳、梭梭凋落物的分解周期分别长达 32.6 年、19.4 年和 44.7 年^[14], 土壤微生物的生命活动缺乏必要的营养支持, 微生物数量和多样性均低于其他土壤环境^[15]。

有研究报道, 利用包括动植物来源的有机质、微生物菌肥等制备的综合性土壤改良剂在改良荒漠土壤方面表现出了良好的效果^[16-18], 但改良剂成分

表 6 目水平优势细菌类群相对丰度

土样 Soil sample	相对丰度/% Relative abundance	
	微球菌目 Micrococcales	根瘤菌目 Rhizobiales
处理 Treatment	24.1	10.3
对照 CKk	13.5	10.9

目水平上, Micrococcales (微球菌目) 和 Rhizobiales (根瘤菌目) 在处理组和对照组中相对丰度均超过 10% (表 6)。处理组微球菌目相对丰度较对照组显著增加, 根瘤菌目相对丰度基本未变, 表明生物质磺酸钙对微球菌目细菌的生长具有显著的促进作用。

科水平上, 只有处理组中 Micrococaceae (微球菌科) 相对丰度超过 10%, 且较该科在对照中相对丰度有显著增加。此外, 相对丰度较高的有 Nocardiodaceae (类诺卡氏菌科) 和 Microbacteriaceae (微杆菌科), 处理组中 Nocardiodaceae 和 Microbacteriaceae 相对丰度较对照组中均有所增加 (表 7)。

复杂, 制备和使用成本高, 难以在荒漠土壤的改良中大规模使用。如何廉价、高效的补充土壤有机质, 改善土壤的营养条件, 是荒漠化土壤改良必须解决的问题。

利用秸秆、枝条等植物性废弃生物质进行土壤改良已多有较多研究报道, 但所采用的均为天然生物质, 并未解决土壤中生物质难以降解的问题。张占等以水稻秸秆还田, 虽然秸秆中水溶性成分提高了土壤速效钾和全氮含量, 但土壤有机质、碱解氮、速效磷、全磷和全钾含量并未明显变化, 说明天然的废弃生物质短时间内难以被土壤微生物分解利用^[6]。

生物质磺酸钙以枝条、秸秆等废弃生物质为原料磺化生成的水溶性物质, 生产工艺简单, 成本低廉, 溶液中纤维素以单分子状态存在^[10]。水溶化的生物质保留有原生物质的全部有机养分及 N、K、Ca、Mg、Fe、Zn 等矿质元素, 并具有良好的保水性及离子交换和络合特性。

本研究结果表明, 生物质磺酸钙施用于荒漠土

壤后,土壤有机质含量、土壤速效磷和速效钾含量以及电导率显著增加,这一方面是生物质本身所含有的少量可溶性磷和钾,另一方面是生物质磺酸钙使土壤中不溶性的磷、钾溶出,有效地改善了土壤的营养条件。与天然生物质相比,生物质磺酸钙由于其水溶性而成为土壤微生物的良好营养源,在短期内即可促进土壤微生物的生长,增加土壤微生物多样性,显示出在土壤改良方面的巨大应用价值。

参考文献:

- [1] 孙永军,周强,杨日红,等. 黄河流域土地荒漠化动态变化遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2008, 20(2): 74-78.
- [2] 王跃. 中国荒漠化病因诊断[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 118-121.
- [3] 马永欢,樊胜岳,姜德娟,等. 我国北方土地荒漠化成因与草业发展研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(3): 217-220.
- [4] 陈青,赵辉,徐春燕,等. 贺兰山东麓荒漠微生物结皮发育过程研究[J]. 生态科学, 2016, 35(2): 8-12.
- [5] LERCH T Z, DIGNAC M F, NUNAN N, et al. Dynamics of soil microbial populations involved in 2, 4-D biodegradation revealed by FAME-based stable isotope probing[J]. *Soil Biol Biochem*, 2009, 41(1): 77-85.
- [6] 张占,朱青青,冯远娇,等. Bt 水稻秸秆还田对土壤养分含量的影响[J]. 生态科学, 2014, 33(5): 845-850.
- [7] 李金林,李健,李志刚,等. 林木枝条不同处理方式对宁夏沙化草地土壤微生物特性及理化性质的短期影响[J]. 北方园艺, 2014(21): 168-173.
- [8] 沙金龙,李健,李志刚,等. 不同方式有机物料处理对沙化土壤细菌多样性的影响[J]. 北方园艺, 2014(3): 97-101.
- [9] MONTIEL-ROZAS M M, DOMÍNGUEZ M T, MADEJÓN E, et al. Long-term effects of organic amendments on bacterial and fungal communities in a degraded Mediterranean soil[J]. *Geoderma*, 2018, 332: 20-28.
- [10] 周福亚. 生物基磺酸盐/硫酸盐合成新工艺及绿色减水剂开发[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 10-11.
- [11] 李建法,宋湛谦. 木质素磺酸盐及其接枝产物作沙土稳定剂的研究[J]. 林产化学与工业, 2002, 22(1): 17-20.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 吴琳梅,丁锐,薛绍礼,等. 木质纤维生物质对纤维素酶的可及性测定方法研究进展[J]. 化学与生物工程, 2017, 34(10): 1-5.
- [14] 杨敏. 荒漠区优势木本植物凋落物特性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2011: 38.
- [15] 龙健,黄昌勇,腾应,等. 我国南方红壤矿山复垦土壤的微生物特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 126-128, 132.
- [16] 朱晓涛,蔺正河,闫治斌,等. 有机营养功能型土壤改良剂对灰棕荒漠土的改良效果[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 276-283.
- [17] 肖占文,肖哲元,师伟杰,等. 多功能土壤改良剂对河西内陆灌区棕漠土的改良效果[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 56-61, 68.
- [18] 刘玉环,闫治斌,王学,等. 功能型土壤改良剂对灰棕荒漠土的改良效果[J]. 土壤通报, 2018, 49(1): 150-158.