

生物腐植酸对露天矿排土场黑麦草生长的影响

张志玲, 王东丽, 尹志刚, 刘毅, 雷虹, 姜东奇, 苑子琦

(辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: [目的] 研究生物腐植酸对露天矿排土场土壤改良效果的影响, 为进一步提高露天矿排土场的土壤质量提供科学参考。[方法] 通过盆栽试验, 研究不同生物腐植酸含量(0~400 kg/hm²)对露天矿排土场不同土地利用类型[(刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林、榆树(*Ulmus pumila*)林、荆条(*Vitex negundo*)林、农田、未复垦土地]下黑麦草(*Lolium multiflorum*)生长状况的影响。[结果] 刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土出苗率最大值分别出现在加入生物腐植酸量为 200, 200, 300, 300, 200 kg/hm² 的试验盆; 5 种土壤黑麦草幼苗株高所需生物腐植酸最大量值分别为 200, 200, 200, 300, 300 kg/hm²; 5 种土壤黑麦草根长长度最大值分别出现在 300, 100, 300, 300, 300 kg/hm² 的试验盆; 而生物量最大值分别出现在加入生物腐植酸量为 200, 100, 200, 300, 300 kg/hm² 的试验盆。随着生物腐植酸量的增加, 各土地利用类型条件下种植的黑麦草出苗率、株高、根系长度、生物量均表现出先增加后减小的趋势。[结论] 生物腐植酸对露天矿排土场不同土壤植物更新与生长具有剂量效应, 表现为“单峰型”变化规律, 体现出适量的生物腐植酸对露天矿排土场植被恢复具有促进作用。

关键词: 生物腐植酸; 黑麦草; 生物量; 植被恢复; 排土场

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0066-07

中图分类号: S156.99

文献参数: 张志玲, 王东丽, 尹志刚, 等. 生物腐植酸对露天矿排土场黑麦草生长的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 066-072. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.019

Effects of Biological Humic Acid on Growth of *Lolium Multiflorum* in Open-pit Mine Dump

ZHANG Zhiling, WANG Dongli, YIN Zhigang, LIU Yi, LEI Hong, JIANG Dongqi, YUAN Ziqi

(College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technique University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: [Objective] The effect of biological humic acid on soil improvement in open-pit mine dump was studied, in order to provide scientific references for the improvement of soil quality. [Methods] Biological humic acid with different contents(0—400 kg/hm²) were added in five different kinds of soil which were derived from five land use types(*Robinia pseudoacacia* forest, *Ulmus pumila* forest, *Vitex negundo* forest, farming land and unutilized land). Pot experiments were conducted by planting *Lolium multiflorum* species. The effects of biological humic acid on soil improvement were investigated. [Results] The maximum emergence rate for the soil from *R. pseudoacacia*, *U. pumila*, *V. negundo*, farming and unutilized land occurred when the amounts of biological humic acid were 200, 200, 300, 300 and 200 kg/hm², respectively. The maximum amount of biological humic acid required by *Lolium multiflorum* seedling for five different kinds of soil were 200, 200, 200, 300 and 300 kg/hm². The maximum root length occurred when the amounts of biological humic acid were 300, 100, 300, 300 and 300 kg/hm², respectively, and the maximum biomass occurred when the amount were 200, 100, 200, 300 and 300 kg/hm², respectively. As the biological humic acid increases, all the seedling emergence, seedling height, root length and seedling biomass showed a downward trend before an increase. [Conclusion] There was a dose effect of the biological humic acid on the plant

收稿日期: 2015-10-23

修回日期: 2015-12-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“干旱胁迫下科尔沁沙地主要防护林树种 CNP 化学计量特征及其影响机制”(31400613); 生产技术创新研究基金“生物腐植酸修复矿区复垦土地示范工程技术研究”(13-T-018); 生产技术创新研究基金“樟子松固沙林自然更新的种源限制性研究”(20160046T)

第一作者: 张志玲(1983—), 女(汉族), 辽宁省葫芦岛市人, 博士研究生, 讲师, 主要从事土壤侵蚀与土壤改良方面的研究。E-mail: ling1983304@163.com。

regeneration and growth in different soil of open-pit mine dump. The change curves of the relations for the plant regeneration and growth and the biological humic acid appeared as a "single-peak" shape, which indicate that a balanced amount of biological humic acid could improve the vegetation recovery in open-pit mine dump.

Keywords: biological humic acid; *Lolium multiflorum*; biomass; vegetation recovery; open-pit mine

阜新海州露天矿有百年采煤历史,是亚洲第1座大型机械化露天煤矿,矿区在采煤的同时,排出了大量废弃岩土,形成了 $1.30 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的排土场^[1-2],不仅造成原有土地资源的损失,还导致区域生态环境的破坏。另外,废弃土地资源的复垦利用率非常低(约10%)^[3],提高矿区废弃地利用率与土地生产力,对于缓解土地资源紧缺的矛盾意义重大。因此,开展矿区废弃地土壤改良研究并恢复重建排土场生态系统的工作非常迫切。生物腐植酸是一种人造腐植酸,以蔗渣、苹果渣、木屑、秸秆等农业有机废弃物为原料,效仿腐植酸形成的自然过程,通过微生物发酵方法制取得到的一种富含有益微生物、低分子有机酸和其他可溶性物质的混合物,生物腐植酸的主要成分为腐植酸类物质中最具活性的黄腐酸即生物(化)黄腐酸^[4-6]。生物腐植酸对于退化土壤的改良与修复具有重要的作用,能全面改善土壤的理化和生物学性质,进而为植物的存活和生长提供有利保障,实现退化生态系统的植被恢复。水溶性较好,易于被动植物组织吸收,生物活性较高及应用效果较好等优点^[7-8]。于江等^[9]研究发现,生物腐植酸对沙地退化土壤具有修复效果,而于学胜等^[7]和王森等^[6]则分别从土壤微生物和土壤养分角度研究生物腐植酸对矿区废弃地的影响。然而,结合植被恢复重建,针对排土场不同利用方式土地的相关研究还较为鲜见。

本文拟以海州露天矿排土场不同基质为研究对象,包括其复垦种植的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、榆树(*Ulmus pumila*)、荆条(*Vitex negundo*)林下土壤,和客土后种植农田的土壤,以及未经复垦、自然风化的土壤,研究5种土壤添加生物腐植酸后,种植黑麦草的出苗与幼苗生长特征,明确生物腐植酸对不同利用方式土地植被恢复的影响,旨在为该地区排土场不同基质改良及植被恢复重建提供依据。

1 研究区概况

海州露天矿排土场东西长3.9 km,南北宽1.8 km;地表海拔标高为165~200 m,平均175 m;地势东南高,西北低,排土场面积约为 13 km^2 ^[10]。排土场位于阜新市南部,地理坐标为东经 $121^\circ 26'$,北纬 $42^\circ 02'$,属于低山丘陵区,海拔为200~215 m。气候属于温带半干旱大陆性季风气候区,年平均降水量485.2 mm,降水集中于7—9月,占全年降水量的

70%。年平均蒸发量1800 mm,是降水量的3.7倍。地带性土壤是在各种岩石风化物残积母质上以黄土、红土母质发育的淋溶褐土、褐土性土,大多分布于丘陵和低山丘陵区,土层较薄。排土场基质除地带性土壤外,还夹杂着大量粉沙岩、砾岩、煤页岩等岩石成分^[2]。植被属华北植物区系边缘,华北与蒙古植物区系的过度地带,分布着中旱生草本、灌木、乔木,草本有羊草(*Leymus chinensis*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、白蒿(*Artemisia anethoides*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)等^[11]。灌木包括紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、荆条、杠柳(*Periploca sepium*)等,乔木有刺槐、榆树、火炬树(*Rhus typhina*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等。

2 材料与方法

2.1 供试材料

2.1.1 供试土壤 供试土壤采自阜新市海州露天矿排土场。在排土场分别选取人工刺槐林、人工榆树林、人工荆条林、客土种植农田、未复垦土地(以下简称刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土)5种土地利用方式的样地;对每个样地分别设置 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的标准样方;对每个样方按“S”形选取15个样点,用土钻采集0—20 cm土层的土壤,混合均匀后带回实验室备用。5种土地利用方式下土壤的基本性质^[12]详见表1。

2.1.2 生物腐植酸 生物腐植酸(bio-active humic acid, BHA)是经蔗渣、秸秆、木屑,畜禽粪便以及有机生活垃圾等废弃物为原料,效仿腐植酸形成的自然过程,经芽孢杆菌等微生物种群发酵制取得到的一种富含微生物的小分子腐植酸类物质,富含有机质、水溶性腐植酸、氨基酸和大量有益菌群,是一种混合物,在土壤改良方面作用突出^[13]。供试的生物腐植酸浓度 $\geq 95\%$,水溶性100%。

2.1.3 供试草种 供试草种为一年生黑麦草(*Lolium multiflorum*)。黑麦草是冷季型禾本科牧草,原产欧洲、亚洲温带和北非,因其营养丰富,生物产量高,可消化性高,适口性好,并具有良好的抗寒能力,不易倒伏,发芽快,再生迅速的特性而被广泛种植,为中国最重要的冷季牧草之一^[14-15],是牛、羊、兔、鹅等草食畜禽的优质青饲料,还可用作猪、鱼等的青饲料^[16]。

表 1 不同土地利用方式下土壤基本性质

土壤类型	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	pH 值	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全 N/ ($g \cdot kg^{-1}$)	碱解 N/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	全 P/ ($g \cdot kg^{-1}$)	速效 P/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
刺槐土	1.18	7.65	13.80	0.17	108.50	0.57	5.12
榆树土	1.37	7.72	9.40	0.07	56.00	0.92	4.25
荆条土	1.26	7.45	9.88	0.08	64.17	0.88	4.76
农田	1.09	7.10	5.30	0.06	30.33	0.30	8.04
未复垦土	1.42	8.36	10.80	0.04	29.17	0.54	2.47

2.2 研究方案

2.2.1 试验布设 试验采用盆栽方法,试验盆的规格长宽高为 30 cm×30 cm×15 cm 的方形木盆。将采集的土样自然风干后,称取 12 kg 土样均匀装入试验盆,土层厚度为 9~12 cm。对于同一类型土壤,设置 5 个生物腐植酸水平,分别加入生物腐植酸的质量为 0(T_1),2(T_2),4(T_3),6(T_4),8(T_5)的生物腐植酸,即为 0,100,200,300,400 kg/hm²,混合均匀后静置,使其自然沉降 10 d 后,浇足底水,播种黑麦草草籽,每盆播种 100 粒。

黑麦草生长期间,根据盆土干湿和黑麦草生长情况,每盆每次灌水 400~500 ml。每个处理设置 3 个重复,5 种土地利用方式土壤共计 75 盆。

2.2.2 出苗监测 播种(2014 年 5 月 19 日)后,保证供水充足。每天记录萌发出苗数量,并用牙签标记。当连续 1 周幼苗数无增长时视作出苗停止^[17]。选用萌发出苗率表征萌发出苗能力,计算公式如下:

$$\text{出苗率} = (\text{萌发出苗数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

2.2.3 幼苗生长测定 黑麦草幼苗生长测定涉及幼苗高度与生物量。其中,幼苗高度分 2 个阶段测定,分别为生长 60 d 后和生长 70 d 后,每盆随机选取 30 株幼苗测量其高度;而幼苗生物量、根系长度则于黑麦草生长 70 d 后,每盆随机采收 30 棵幼苗,蒸馏水冲洗 2~3 次,吸水纸吸干后称量鲜重及根系长度,之后放入 80 °C 烘箱中烘干至恒重,称量干重,进而计算生物量。

2.3 数据统计与分析

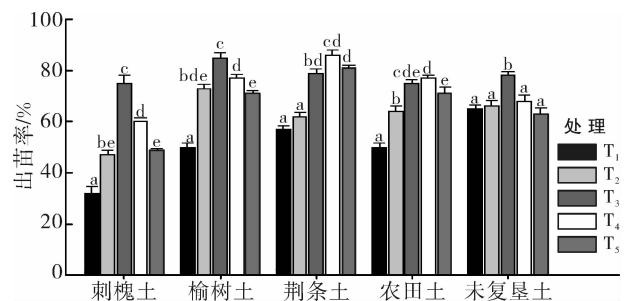
采用单因素方差分析(ANOVA)分析不同含量生物腐植酸下黑麦草出苗率、幼苗高度及生物量间的差异性,并运用 Duncan 检验方法进行多重比较。统计分析使用 SPSS 16.0 软件,绘图使用 SigmaPlot 10.0 软件。

3 结果与分析

3.1 生物腐植酸对黑麦草出苗的影响

出苗率是指出苗的种子数占播种数的百分比,是

检测土壤肥力的重要指标之一。5 种土壤均表现出添加生物腐植酸后黑麦草萌发出苗较不添加生物腐植酸多,而且除了未复垦土壤外,其他 4 种土壤添加生物腐植酸后黑麦草的萌发出苗率均显著高于不添加生物腐植酸处理;同时,5 种土壤黑麦草萌发出苗率均表现出随着生物腐植酸浓度的增加先增加后下降的规律(图 1)。由图 1 可知,适量的生物腐植酸添加有利于黑麦草萌发出苗,过量的生物腐植酸添加反而限制黑麦草萌发出苗。其中,刺槐土、榆树土和未复垦土均在 200 kg/hm² 水平下表现为最大的萌发出苗能力,而对于荆条土和农田土则在 300 kg/hm² 水平下表现为最大的萌发出苗能力。



注: T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 分别表示: 添加生物腐植酸量分别为 0, 100, 200, 300, 400 kg/hm²; 不同小写字母代表 5 种土壤添加不同梯度生物腐植酸的出苗率差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

图 1 不同生物腐植酸处理下 5 种土壤黑麦草出苗率

然而,添加生物腐植酸后,5 种土壤的黑麦草萌发出苗也表现出一定的差异性(图 1)。刺槐土在不同生物腐植酸处理下的黑麦草出苗率普遍低于其他土壤相应处理下的黑麦草出苗率。可见,与其他土壤相比,刺槐土通过添加生物腐植酸改良效果较差;而榆树土和荆条土在添加生物腐植酸处理下的黑麦草萌发出苗相对于其他土壤较好,特别是添加生物腐植酸为 100, 200, 300 kg/hm² 水平,表明这 2 种土壤相对于其他 3 种土壤而言,100, 200, 300 kg/hm² 水平的生物腐植酸改良效果优于其他土壤。

3.2 生物腐植酸对黑麦草幼苗高度的影响

通过测量黑麦草的株高,计算黑麦草的生长量,从而研究不同配比的生物腐植酸对露天矿排土场土壤中黑麦草株高的影响。黑麦草幼苗在 5 种土壤中添加不同质量的生物腐植酸后的生长状况明显不同(图 2),但是 2 次生长期幼苗高度的变化趋势大致相同。刺槐土添加生物腐植酸后,随着生物腐植酸量的增加,黑麦草株高呈逐级上升的趋势,黑麦草幼苗在刺槐土中生长,未加入生物腐植酸的株高与加入不同量的生物腐植酸差异显著($p < 0.05$),加入 400 kg/hm² 的生物腐植酸的株高显著($p < 0.05$)高于加入其他含量生物腐植酸的株高,说明在刺槐土中加入生物腐植酸有利于黑麦草幼苗的生长,且加入 400 kg/hm² 量生物腐植酸对黑麦草的生长最有利。

榆树土内随生物腐植酸梯度改变黑麦草的株高趋势呈现倒“V”字型,接近于正态分布,加入 400 kg/hm² 量的生物腐植酸显著($p < 0.05$)低于加入 200 kg/hm², 300 kg/hm² 的株高,说明加入 400 kg/hm² 后,榆树土壤中的生物腐植酸已加过量,抑制了黑麦草的生长,而加入 200 kg/hm²,最有利于黑麦草的生长。

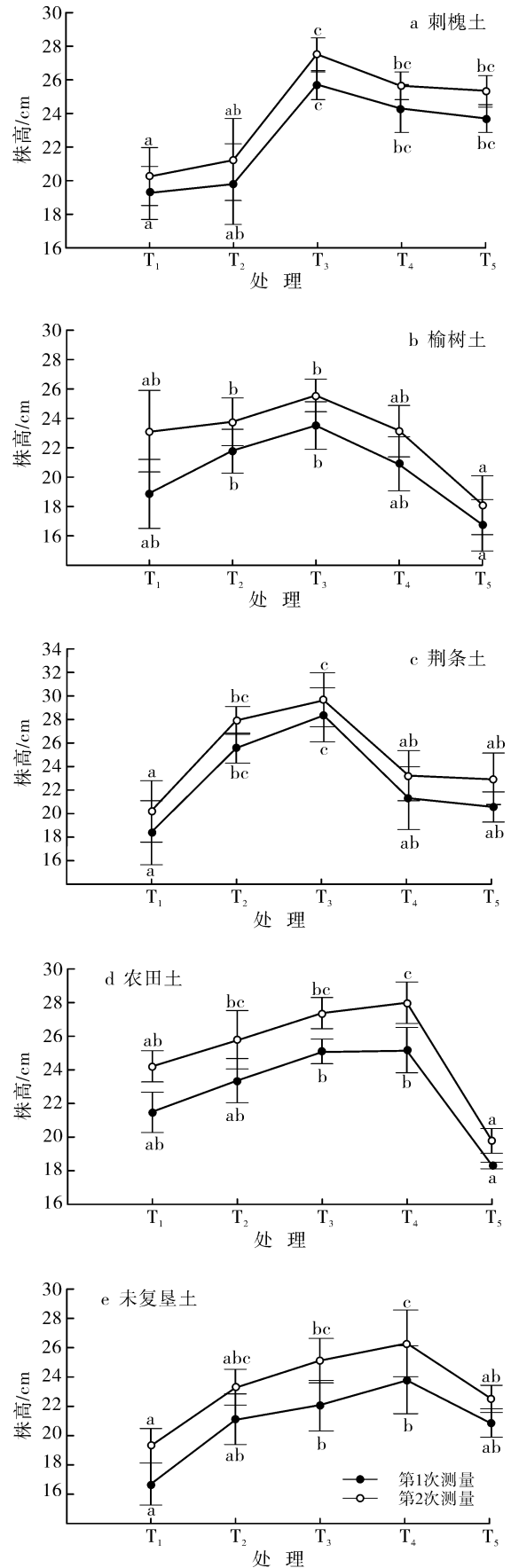
荆条土添加不同量的生物腐植酸后,在 200 kg/hm² 量处达到峰值,两侧接近对称,在 5 种土中加入生物腐植酸后,荆条土中的黑麦草幼苗平均株高最高,生长最好。加入 200 kg/hm² 的株高显著($p < 0.05$)大于 0,100,300 kg/hm² 的株高,从图 2 上看荆条土内加入 200 kg/hm² 生物腐植酸最好。

农田土株高随生物腐植酸的增加逐渐增加,到达 300 kg/hm² 时,黑麦草幼苗株高达到最大值,之后迅速降低到最低点,趋势为正态分布中的正偏状态;未复垦土随生物腐植酸梯度的增加株高趋势的走向与农田土相似,不同的是在株高达到峰值后缓慢的降低。

加入生物腐植酸后,未复垦土第 1 次测量的株高在加入生物腐植酸为 200,300 kg/hm² 的处理显著($p < 0.05$)大于未加入生物腐植酸,第 2 次测量的株高在加入生物腐植酸 300 kg/hm² 的处理显著($p < 0.05$)高于其他处理。可见,未复垦土添加生物腐植酸对黑麦草生长效果明显,未复垦土壤添加 300 kg/hm² 的生物腐植酸后,黑麦草生长效果较好。

3.3 添加生物腐植酸对黑麦草根系的影

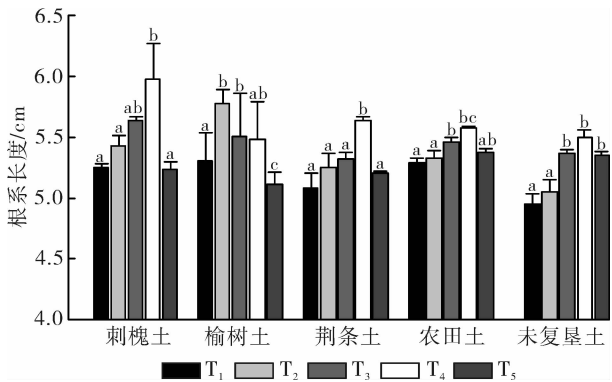
刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土中添加 5 个梯度的生物腐植酸后,黑麦草的根系长度存在波动性,5 种土壤的根系最大值分别出现在 300,100,300,300,300 kg/hm²(图 3)。



注:不同小写字母代表 5 种土壤添加不同梯度生物腐植酸的株高差异显著($p < 0.05$)。

图 2 不同生物腐植酸处理下 5 种土壤黑麦草幼苗高度

刺槐土、榆树土、荆条土的黑麦草根系长度随加入生物腐植酸的梯度变化出现明显的先增加后减小的趋势,说明过量的生物腐植酸对黑麦草的根系长度有抑制的作用,但农田土、未复垦土出现了当加入生物腐植酸低于 100 kg/hm^2 ,黑麦草根系长度变化不显著,添加的量大于 200 kg/hm^2 时,黑麦草的根系长度显著($p < 0.05$)增加,但 $200, 300, 400 \text{ kg/hm}^2$ 处理的根系长度变化不显著,这种现象说明生物腐植酸对黑麦草根系长度的影响趋于稳定。



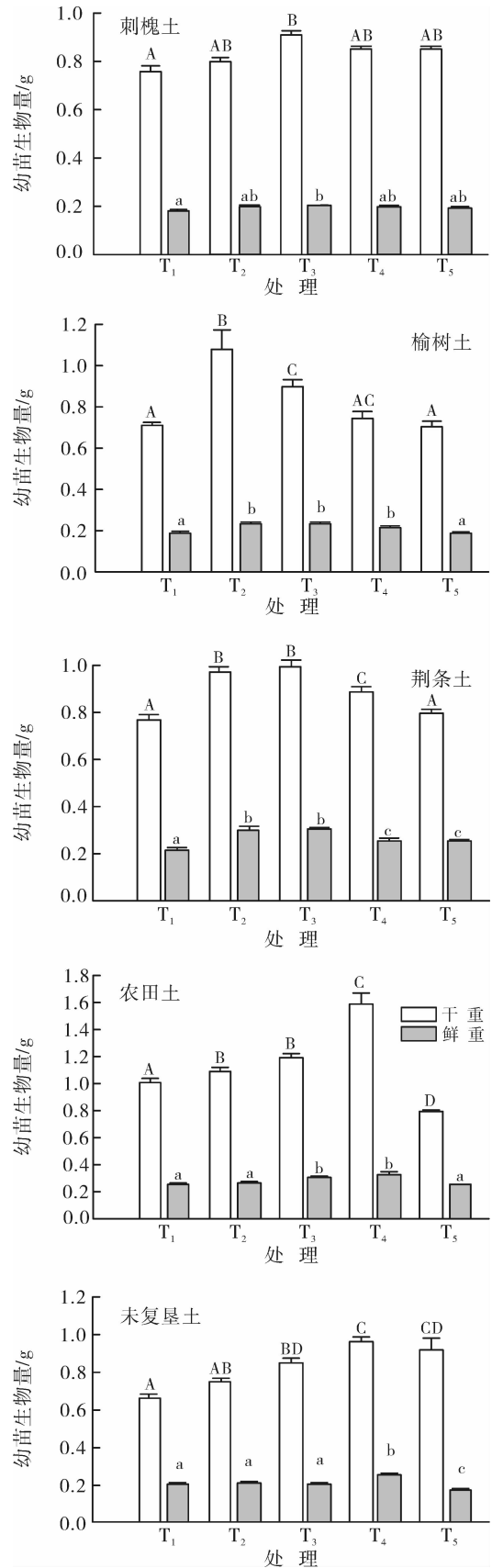
注:不同小写字母代表 5 种土壤添加不同梯度生物腐植酸的根系长度差异显著($p < 0.05$)。

图 3 不同生物腐植酸处理下 5 种土壤黑麦草幼苗根系长度

3.4 添加生物腐植酸对黑麦草生物量的影响

黑麦草在加入生物腐植酸的 5 种土壤中萌发出苗后,幼苗鲜重在 5 种土壤中均表现出随生物腐植酸量的增加,鲜重先增加后减小的趋势,但鲜重出现的最大值处理水平存在明显差异(图 4)。刺槐土、荆条土在生物腐植酸加入 200 kg/hm^2 水平鲜重显著($p < 0.05$)大于其他处理,农田土、未复垦土在添加生物腐植酸 300 kg/hm^2 鲜重出现最大值,榆树土则在加入 100 kg/hm^2 水平鲜重显著($p < 0.05$)最大。表明适量的加入生物腐植酸对于黑麦草的鲜重影响显著,且不同土壤加入的生物腐植酸的最优量不同,大于最优量后,对于黑麦草的鲜重有抑制作用。

在 5 种土壤中的黑麦草幼苗加入生物腐植酸处理后的干重的趋势与同种土壤黑麦草鲜重趋势大致相同,而每种土壤中不同处理后黑麦草幼苗的干重明显不同,刺槐土的黑麦草干重随加入生物腐植酸量的先增大后减小,加入生物腐植酸量达到 200 kg/hm^2 时,黑麦草幼苗干重最大。而榆树土加入 100 kg/hm^2 干重显著($p < 0.05$)大于其他处理,说明加入生物腐植酸对榆树土中黑麦草的干重有促进作用,但当生物腐植酸量为 $200, 300 \text{ kg/hm}^2$ 时,榆树土中黑麦草的幼苗干重开始随之减小,达到 400 kg/hm^2 时,黑麦草干重达到最小。



注:不同小写字母代表 5 种土壤添加不同梯度生物腐植酸的干重差异显著($p < 0.05$); 不同大写字母代表 5 种土壤添加不同梯度生物腐植酸的鲜重差异显著($p < 0.05$)。

图 4 不同生物腐植酸处理下 5 种土壤黑麦草幼苗生物量

荆条土加入生物腐植酸 100, 200 kg/hm² 黑麦草干重显著 ($p < 0.05$), 200 kg/hm² 最大; 农田土加入生物腐植酸 300 kg/hm² 黑麦草干重最大, 但与加入 200 kg/hm² 不显著 ($p < 0.05$); 未复垦土添加生物腐植酸量达 300 kg/hm² 显著 ($p < 0.05$) 大于加入其他生物腐植酸的量。结果表明, 加入生物腐植酸对于增大黑麦草幼苗生物量积累毋庸置疑, 但是各种土壤添加的最优量略有不同, 同时随着生物腐植酸量的增加对黑麦草幼苗生物量具有抑制作用。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究中, 适量的生物腐植酸对露天矿排土场 5 种土壤下黑麦草萌发出苗率均有促进作用, 主要在于腐植酸类物质具有胶体性质, 能通过絮凝作用将土壤中团聚体、微团聚体粘结成水稳性好的团粒结构, 有效降低土壤容重, 增加孔隙度, 使土壤具有良好的通透性, 有利于土壤中水、气、热状况的调节^[7-8], 为黑麦草种子萌发适宜的条件提供保障; 同时, 腐植酸具有巨大的比表面积和离子交换性能, 使其具有很好的吸水性和保水性^[9], 而水分条件则是植物种子萌发的关键限制因子之一, 尤其是对于干旱半干旱地区植物的种子萌发, 研究区属于半干旱大陆性季风气候区, 干旱胁迫是排土场植被恢复的关键限制因子, 生物腐植酸通过其吸水性和保水性可为黑麦草种子萌发出苗提供充分的水分保障。另外, 生物腐植酸对黑麦草出苗率的影响还因土壤载体而异。刺槐土在不同生物腐植酸添加处理下的黑麦草出苗率普遍低于其他土壤相应处理下的黑麦草出苗率, 可见, 刺槐土通过添加生物腐植酸改良效果不如其他土壤; 而榆树土和荆条土在添加生物腐植酸处理下的黑麦草萌发出苗率相对高于其他土壤。通过比较 5 种土壤的基本理化性质发现, 刺槐土壤的有机质和碱解氮明显高于其他土壤, 而榆树土和荆条土的容重和全磷明显高于其他土壤, 可见土壤本身的特性对于生物腐植酸对植物萌发出苗的影响具有一定的作用, 具体的作用机理有待进一步研究。

黑麦草在加入生物腐植酸的 5 种土壤中萌发出苗后, 幼苗高度、根系长度、鲜重和干重均呈现出在 5 种土壤中添加适量生物腐植酸而达到最优值的规律。适量的生物腐植酸能促进黑麦草生长的原因主要有 2 方面的因素: 一方面, 一定量的生物腐植酸通过改良土壤的物理结构, 改善土壤的持水性、透气性、形成适合植物生长发育的良好土壤环境; 另一方面, 施用适量的生物腐植酸能够在较短时间内显著提高土壤

有机质含量, 为植物自身营养需求提供直接的供应^[18-19], 同时促进了微生物数量、丰度和土壤酶活性^[7]。黑麦草的幼苗高度、根系长度、鲜重和干重在较大浓度的生物腐植酸量处理下呈现降低的趋势, 原因主要是土壤全氮和有机碳等养分含量在持续添加生物腐植酸后并没有持续成比例增加, 而是保持稳定或有下降的趋势^[7], 植物生长受营养条件供给的限制; Mylonas 等^[20]研究表明, 腐植酸在低含量 (0~100 mg/L) 条件下能够显著增加烟草苗的根数和根长, 且作用效果随含量和培养时间的增加而增强, 而含量超过 500 mg/L 时则出现明显的抑制作用, 这与本研究中黑麦草根系长度结果一致。

4.2 结论

土壤中添加生物腐植酸有利于黑麦草出苗, 随着添加生物腐植酸量增加, 出苗率先增加到最大值后减小, 刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土出苗率最大值分别出现在加入生物腐植酸量为 200, 200, 300, 300, 200 kg/hm²。5 种土壤中添加少于 100 kg/hm² 生物腐植酸对黑麦草幼苗株高影响不显著, 但当增加到 200 kg/hm² 时, 黑麦草幼苗株高在刺槐土、榆树土、荆条土中达到最大值, 当加入生物腐植酸 300 kg/hm² 时, 农田土、未复垦土内的黑麦草幼苗株高达到最大值, 而其它 3 种土壤内的黑麦草株高有下降的趋势。添加生物腐植酸对黑麦草的根系有一定的影响, 5 种土壤黑麦草根系长度最大值分别出现在加入生物腐植酸 300, 100, 300, 300, 300 kg/hm²。黑麦草的生物量受到生物腐植酸的显著影响, 刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土生物量最大值分别出现在加入生物腐植酸量为 200, 100, 200, 300, 300 kg/hm²。综合黑麦草出苗率、株高、根系长度及生物量结果分析, 刺槐土、榆树土、荆条土、农田土、未复垦土分别加入生物腐植酸量 200~300, 100~200, 200~300, 300, 200~300 kg/hm² 时黑麦草生长最优。生物腐植酸对露天矿排土场不同土壤植物更新与生长具有剂量效应, 表现为“单峰型”变化规律, 体现出适量的生物腐植酸对露天矿排土场植被恢复具有促进作用。

[参 考 文 献]

- [1] 梁冰, 白国良. 阜新市新邱露天矿东排土场土地复垦模式研究[J]. 露天采矿技术, 2005(1): 29-31.
- [2] 许丽, 樊金栓, 周心澄, 等. 阜新市海州露天煤矿排土场植被自然恢复过程中物种多样性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 152-156.
- [3] 苏光全, 何书金, 郭焕成. 矿区废弃土地资源适宜性评价[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 40-46.

- [4] 单俊杰,张常书,张江川.利用生物技术开发生化黄腐酸新肥源[J].腐植酸,2005(2):1-3.
- [5] 张常书,彭红梅,刘媛媛,等.煤炭黄腐酸和生化黄腐酸界定研究[J].腐植酸,2008(2):12-34.
- [6] 王森,韩思训,耿兵,等.不同施肥条件下生物腐植酸对磷的转化效果分析[J].中国农业气象,2013,34(5):551-556.
- [7] 于学胜.生物腐植酸对矿区废弃地土壤微生物重建作用的研究[D],北京:中国农业科学院,2013.
- [8] 陈静,黄占斌.腐植酸在土壤修复中的作用[J].腐植酸,2014(4):30-34.
- [9] 于江,朱昌雄,郭萍,等.生物腐植酸对新疆甘草产地沙退化土壤修复效果评价:以土壤养分指标为例[J].中国农业气象,2010,31(3):369-373.
- [10] 高英旭,刘红民,刘阳,等.海州露天矿排土场不同林分土壤理化性质对植被生物量的影响[J].中南林业科技大学学报,2014,34(1):78-83.
- [11] 王凯,刘锋,祝畅,等.阜新露天矿排土场边坡植物多样性与生产力特征[J].水土保持通报,2015,35(1):338-343.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2005.
- [13] 叶倩,朱昌雄.腐植酸与沙化退化土壤修复[C]//第九届全国绿色环保肥料(农药)新技术、新产品交流会文集,2010.
- [14] 方勇,章红兵.南方红壤区种植黑麦草的效应研究[J].草业科学,2005,22(4):69-71.
- [15] 张卫国,江小雷,杨振宇,等.多花黑麦草在高寒牧区的引种研究[J].草业学报,2004,13(2):50-55.
- [16] 张磊,刘东燕,邵涛.黑麦草的饲用价值及其应用前景[J].草地科学,2008,25(4):64-69.
- [17] 王凯,袁喆,罗根华,等.粉煤灰添加对草地早熟禾种子发芽和幼苗生长的影响[J].中国草地学报,2015,37(1):70-75.
- [18] Carter M R. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions [J]. Journal of Agronomy, 2000,94(1):38-47.
- [19] Dominy C, Haynes R. Influence of agricultural land management on organic matter content, microbial activity and aggregate stability in the profiles of two Oxisols[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002,36(4):298-305.
- [20] Mylonas V A, McCants C B. Effects of humic acids and fulvic acids on growth of tobacco[J]. Plant and Soil, 1980(54):485-490.

(上接第 65 页)

[参 考 文 献]

- [1] 任继周.放牧,草原生态系统存在的基本方式:兼论放牧的转型[J].自然资源学报,2012,27(8):1259-1275.
- [2] Ralphs M H. Influence of short duration and high intensity grazing on rangeland vegetation[J]. Range Manage, 1990,43(2):104-108.
- [3] Koerner S E, Collins S L. Interactive effects of grazing, drought, and fire on grassland plant communities in North America and South Africa[J]. Ecology, 2014,95(1):98-109.
- [4] Lingorisk V. Effect of enclosed and unrestricted grazing on the herbage characteristics of a sown sward [J]. Herbage Abstract, 1992,62(10):290.
- [5] 李永宏,汪诗平.放牧对草原植物的影响[J].中国草地,1999,21(3):11-19.
- [6] 卫智军,李霞,刘红梅,等.呼伦贝尔草甸草原群落特征对不同放牧制度的响应[J].中国草地学报,2011,33(1):65-70.
- [7] 王明君,韩国栋,崔国文,等.放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响[J].生态学杂志,2010,29(5):862-868.
- [8] 闫瑞瑞,闫玉春,辛晓平,等.不同放牧梯度下草甸草原土壤微生物和酶活性研究[J].生态环境学报,2011,20(2):259-265.
- [9] 姜恕,李博,王义凤.草地生态研究方法[M].北京:农业出版社,1988,15-22.
- [10] 李振高,骆永明,滕应.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008:71-94.
- [11] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010:243-265.
- [12] 桂花,乌仁其其格,袁伟.呼伦贝尔草甸草原自然保护区不同干扰下植物群落特征研究[J].广东农业科学,2012,39(15):181-183.
- [13] 汪诗平.刈牧对草原植物的影响[J].生态学杂志,2000,19(6):34-39.