

不同改良措施对银川平原盐碱地土壤微生物区系的影响

郭永忠^{1,2}, 李凤霞^{3*}, 王学琴^{1,4}, 许 兴¹, 柯 英³

(1. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏农林科学院 荒漠化研究所, 宁夏 银川 750002;
3. 宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002; 4. 宁夏科技发展战略和信息研究所, 宁夏 银川 750001)

摘要: 为了明确不同改良措施对银川平原盐碱地土壤微生物的影响, 研究了秸秆、有机肥、烟气脱硫废弃物、盐碱地改良剂对银川平原盐碱地土壤微生物区系的影响及其与土壤微生物多样性、土壤性质之间的相关关系。结果表明: 脱硫废弃物处理能够显著降低土壤真菌数量, 降低幅度 6.22%~37.81%, 改良剂和有机肥处理能够增加土壤细菌数量, 0~20 cm 增加的幅度分别为 6.25%~94.35% 和 12.91%~93.64%。脱硫废弃物、有机肥和秸秆处理与对照相比能够增加土壤放线菌数量, 3 个处理在整个生长季增加 0~20 cm 土壤放线菌数量的幅度分别为 1.97%~7.35%、20.58%~48.11% 和 11.25%~37.44%。各改良措施增加了土壤微生物群落对碳源的利用能力, 0~20 cm 土壤依次表现为秸秆>有机肥>脱硫废弃物>改良剂>对照。各处理土壤细菌、微生物总数与土壤 pH 值、全盐含量、容重呈显著负相关关系 ($P<0.05$), 与土壤孔隙度呈极显著正相关关系 ($P<0.01$), 盐碱地土壤容重是土壤细菌、微生物总数和土壤微生物碳源利用能力的最大限制性因子。

关键词: 微生物区系; 总碳源利用特征; 盐碱地; 改良; 银川平原

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)11-0058-06

Effect of Different Soil Improvement Measures on Microbial Flora in Saline-alkali Soil in Yinchuan Plain

GUO Yong-zhong^{1,2}, LI Feng-xia^{3*}, WANG Xue-qin^{1,4}, XU Xing¹, KE Ying³

(1. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Desert Control Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China; 3. Agriculture Resource and Environment Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan 750002, China;
4. Development strategy and Information Research Institute of Ningxia Science and Technology Department, Yinchuan 750001, China)

Abstract: In order to grasp the impact of improvement measures on saline-alkali soil microbes of Yinchuan plain, a field experiment was conducted to study the effects of straw, organic fertilizer, flue gas desulfurization (FGD) waste and saline-alkali soil amendment on soil microflora and microbial community diversity, and the correlation between soil microbial diversity, microorganisms number, and soil properties in saline-alkali soil in Yinchuan plain. The results showed that desulfurization waste treatment significantly reduced the number of soil fungi by 6.22% to 37.81%,

收稿日期: 2012-05-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40961020); 国家科技支撑计划项目 (2007BA08B05)

作者简介: 郭永忠 (1975-), 男, 宁夏盐池人, 助理研究员, 硕士, 主要从事农业生态方面的研究工作。E-mail: nxgyzh@163.com

* 通讯作者: 李凤霞 (1977-), 女, 宁夏固原人, 助理研究员, 博士, 主要从事盐碱地改良和土壤微生物方面的研究。

E-mail: lifengxia1211@sina.com

while amendment and organic fertilizer processing increased the number of soil bacteria, by 6.25% to 94.35% and 12.91% to 93.64% in 0–20 cm, respectively. Compared to the control, desulfurization waste, organic fertilizer and straw treatment increased the number of soil actinomycetes, by 1.97% to 7.35%, 20.58% to 48.11% and 11.25% to 37.44%, respectively, in 0–20 cm throughout the growing season. The four improvement measures increased the utilization capacity of carbon source by soil microbial community, with the effect order in 0–20 cm soil by straw > organic fertilizer > FGD waste > saline-alkali soil amendment > control. The significant negative correlation existed between the amount of bacteria, total microbes and soil pH, total salt content, bulk density, while the highly significant positive correlation existed between the amount of bacteria, total microbes and soil porosity.

Key words: microbial flora; total carbon utilization characteristics; saline-alkali soil; improvement; Yinchuan plain

土壤微生物直接参与动植物残体的分解、养分的储存转化,在土壤功能及土壤演变过程中起重要作用^[1]。研究认为,土壤微生物是一种有效、反应灵敏的土壤质量评价指标^[2]。目前对农田土壤微生物的研究较多,土壤微生物的代谢活性、功能多样性随着植物种类数量增加而直线上升,土壤扰动会降低土壤微生物的多样性和活性,免耕或保护性耕作能够增加土壤微生物数量和代谢活性,土壤添加物类型也影响土壤微生物类型的变化^[3–6]。近几年对银川平原盐碱地研究较多,并取得了一定的成效^[7–9],但其研究主要集中在土壤性质和地上植物生长特性等方面,对盐碱地土壤微生物研究报道较少,且基本针对某一种改良物质下土壤微生物的变化^[10–14],而对于多种改良物料对比下土壤微生物特征方面的研究更少。微生物是土壤中物质与能量转化的直接参与者,它们的活动对土壤肥力形成、土壤物质、能量的流动以及土壤生态系统的稳定都起着不容忽视的作用^[15]。因此,研究秸秆、有机肥、烟气脱硫废弃物、盐碱地改良剂 4 种不同改良措施对土壤微生物区系特征的影响,旨在为揭示土壤微生物数量与微生物多样性、土壤酶活性的关系,阐明盐碱地土壤微生物对盐碱地土壤改良的响应及盐碱地土壤演变规律提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验在宁夏银川平原北部西大滩盐碱地试验基地进行。土壤属于龟裂碱土,东经 106°13′~106°26′,北纬 38°45′~38°55′,海拔 1 091~1 102 m,年均降水量 172.5 mm,其中 7、8、9 三个月降水量占 66.6%,年平均蒸发量 1 755 mm,全年平均相对湿度为 56%,年平均日照时数 2 800~3 200 h,年平均气温 8.5℃,昼夜温差 8~15℃,全年无霜期 150 d^[16–17]。试验前土壤基本化学性质为 pH 值 8.9,

全盐 3.8 g/kg(盐分类型主要有 NaCl、Na₂SO₄、Na₂CO₃),有机质 12.16 g/kg,全氮 0.51 g/kg,全磷 0.62 g/kg,全钾 18.5 g/kg,速效氮 21 mg/kg,速效磷 9.0 mg/kg,速效钾 122 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于 2009—2011 年在宁夏西大滩试验基地进行,共设 5 个处理,分别为空白对照(不施),秸秆、有机肥、脱硫废弃物、盐碱地改良剂各 7.5 t/hm²。试验采用随机区组设计,重复 3 次,小区面积 30 m²。试验用有机肥为牛粪,秸秆采用玉米秆粉碎成 3 cm 长段,燃煤烟气脱硫废弃物来自宁夏马莲台电厂,盐碱地改良剂为宁夏大学研发的产品(主要成分为糠醛渣)。种植紫花苜蓿(*Medicago sativa*),品种为雷达克之星(Ladak⁺),购自北京克劳沃草业公司。各改良物料于 2009 年 10 月施入土壤后深耕,灌冬水,2010 年 4 月中旬播种,前茬作物为玉米,各处理全生育期灌水及其他田间管理措施一致,整个试验期不施其他肥料。

1.3 测定指标及方法

在紫花苜蓿生长不同时期,用土钻采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤放入无菌的塑料袋内,每处理的 3 个土壤样品放入同一个无菌塑料袋内,混合均匀后分成 2 份,置于存有冰块的取样箱中带回实验室备用。土壤微生物区系测定采用平板稀释法,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用孟加拉红培养基,放线菌用改良的高氏一号培养基^[18]。土壤微生物碳源利用特征测定采用有 31 种碳源的 Biolog ECO-plate 方法,每个生态板上微生物群落活性用平均颜色变化率(AWCD)表达^[19], $AWCD = \sum(C-R)/n$,公式中 C 为每个碳源孔在 590 nm 的光密度值, R 为对照孔的光密度值, n 为培养基碳源种类数,生态板孔数 n 为 31。土壤容重和孔隙度采用环刀法测定,全盐采用电导率仪法测定(CM-230 型),pH 值采用数字酸度计测定(PHS-25 型),土壤

其他项目测定采用常规分析方法^[19]。

试验数据采用 Excel 和 DPS V9.5 软件进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良措施对盐碱地土壤微生物区系的影响

2.1.1 对细菌数量的影响 不同改良措施对盐碱地土壤细菌数量的影响见图 1, 由图 1 可知, 不同处理随着苜蓿生长时期的不同, 细菌增加的数量也有所不同。改良剂和有机肥处理与对照相比能够显著增加 0~20 cm 土壤细菌数量, 二者增加的幅度在 5、7、9 月分别为 94.35%、45.46%、6.25% 和 93.64%、25.68%、12.91%。秸秆处理在 5 月

和 7 月细菌量分别增加 32.28% 和 10.08%, 脱硫废弃物处理在 7 月和 9 月细菌量分别增加 101.38% 和 3.44%。而改良剂、有机肥、秸秆和脱硫废弃物 4 个处理与对照相比均增加了 20~40 cm 土壤细菌数量, 不同月份增加细菌数量的幅度不同, 5—9 月份改良剂增加的幅度在 44.51%~56.67%; 有机肥增加的幅度在 88.09%~268.16%; 秸秆增加细菌数量的幅度在 7 月份表现最小 (23.83%), 9 月份增加的幅度最大 (141.21%); 脱硫废弃物增加细菌数量的幅度在 7 月份表现最小 (2.05%), 5 月份增加的幅度最高, 达到了 53.91%。另外, 随着苜蓿生育时期的推移, 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤细菌数量均呈现逐渐减少的趋势, 即 5 月 > 7 月 > 9 月。

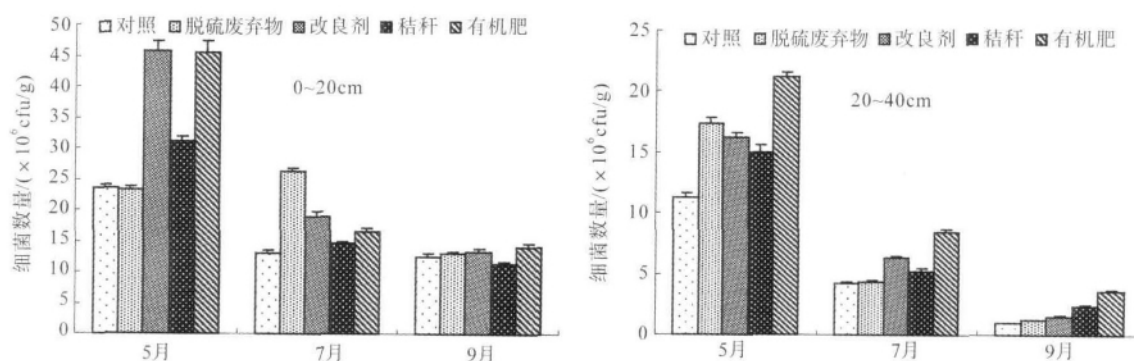


图 1 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤细菌数量的影响

2.1.2 对真菌数量的影响 由图 2 可知, 与对照相比, 脱硫废弃物处理显著降低 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤真菌数量, 0~20 cm 土壤真菌数量在 7 月降低的幅度为 6.22%, 9 月降低的幅度最高达到 29.46%; 20~40 cm 土壤 9 月降低的幅度最小为 10.14%, 在 7 月降低的幅度最高达到 37.81%。而秸秆处理显著增加 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤真菌数量, 增加的幅度在 5、7、9 月分别为 23.82%~

55.79% 和 20.43%~36.64%。改良剂处理降低了 20~40 cm 土壤真菌数量, 降低的幅度在 24.55%~27.12%, 有机肥处理增加了 20~40 cm 土壤真菌数量, 增加的幅度在 8.61%~50.92%。改良剂和有机肥处理对 0~20 cm 土壤真菌数量的影响在不同时期波动较大。真菌数量有明显的季节变化, 随着苜蓿生育时期的推移, 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤真菌数量呈现逐渐减少的趋势, 即 5 月 > 7 月 > 9 月。

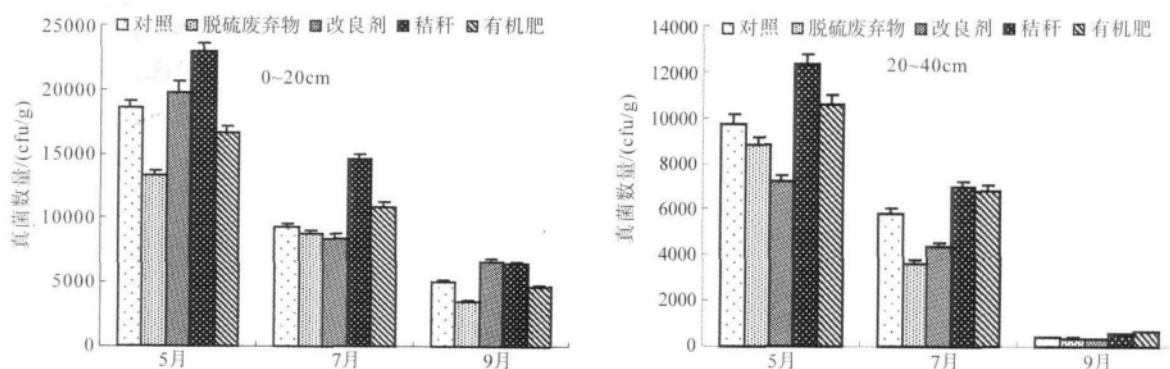


图 2 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤真菌数量的影响

2.1.3 对放线菌数量的影响 脱硫废弃物、有机肥和秸秆处理与对照相比能够增加 0~20 cm 土壤放线菌数量(图 3),3 个处理在苜蓿整个生长季增加 0~20 cm 土壤放线菌数量的幅度分别为 1.97%~7.35%、20.58%~48.11%和 11.25%~37.44%。改良剂、有机肥、秸秆和脱硫废弃物 4

个处理与对照相比均增加了 20~40 cm 土壤放线菌数量,其中脱硫废弃物处理土壤放线菌的增加幅度在 5 月份表现最小,仅为 0.63%,有机肥处理土壤放线菌增加数量在 9 月份表现最高,达到 75.00%。放线菌数量季节变化显著,表现为 5 月>7 月>9 月。

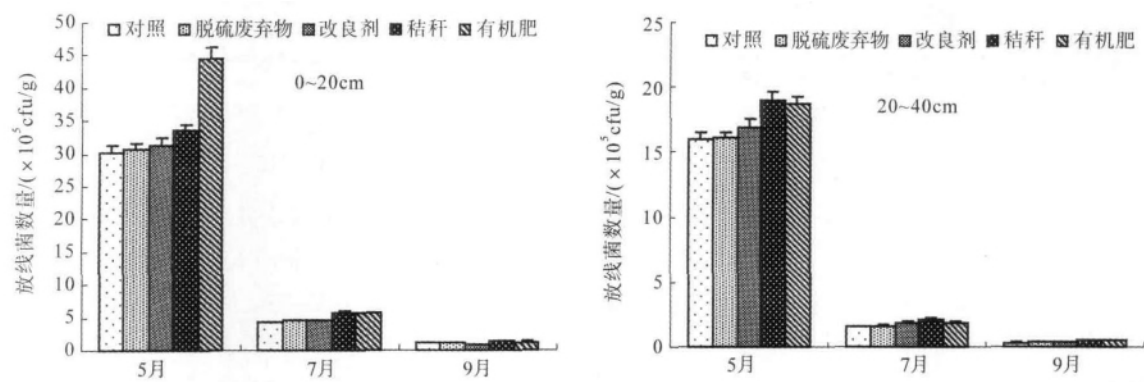


图 3 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤放线菌数量的影响

2.1.4 对微生物总数及群落结构的影响 脱硫废弃物、改良剂、有机肥和秸秆处理都不同程度地增加了 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤微生物总数(表 1),与对照相比差异均达到了极显著水平。对 0~20 cm 土壤微生物总数增加幅度最大的措施是改良剂和有机肥处理,其次是脱硫废弃物和秸秆处理,与对照相比各改良措施土壤微生物总数增加幅度在 15.98%~55.08%。对 20~40 cm 土壤微生物总数增加幅度最大的改良措施是有机肥处理,该处理比对照微生物总数增加 94.15%,其次是改良剂、秸秆和脱硫废弃物处理,其微生物总数增加幅度依次为 42.99%、35.76%、35.28%,这 3 个处理之间差异不显著,但它们与对照之间差异均达到极显著水平($P<0.01$)。不同改良措施的土壤微生物群落结构总体上呈现细菌>放线菌>真菌。

2.2 不同改良措施对盐碱地土壤微生物群落总碳源利用的影响

AWCD 可反映土壤微生物群落碳源代谢能力的高低^[20],盐碱地在不同改良措施处理下土壤微生物群落在培养第 1 天 AWCD 值都较小(图 4),说明各土壤在培养 1 d 之内碳源基本未被利用,1 d 后 AWCD 值开始明显增加,碳源开始被利用。土壤 AWCD 值随着培养时间的延长出现明显增加的趋势,但不同措施处理土壤微生物群落利用总碳源能力不同。在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中,以秸秆处理的土壤微生物群落总碳源利用能力一直保持较高的水平,反映了秸秆处理后土壤微生物对碳的代谢能力最大;而空白对照处理对碳的代谢能力最低。0~20 cm 各处理土壤微生物 7 d 时 AWCD 值差异达到极显著水平($P<0.01$),AWCD 值的大小顺序依次为秸秆(1.22)>有机肥(1.09)>脱硫废弃物(0.93)>改良剂(0.66)>对照(0.25)。可见,4 种改良措施均可增加土壤微生物群落对碳源的利用能力。20~40 cm 各个处理土壤微生物培养 7 d 时 AWCD 值在 0.06~0.97,各个处理之间差异均达到了极显著水平($P<0.01$),此时的 AWCD 值顺序依次为秸秆>改良剂>有机肥>脱硫废弃物>对照。说明秸秆、改良剂、有机肥在改良盐碱地的同时,提高了土壤碳源,为土壤微生物生长活动提供了能源,促进了土壤微生物对碳源的利用能力,提高了土壤微生物活性和多样性。

表 1 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤微生物总数的影响

处理	0~20 cm		20~40 cm	
	均值/($\times 10^6$ cfu/g)	增加/%	均值/($\times 10^6$ cfu/g)	增加/%
对照	17.54dD		6.07cC	
脱硫废弃物	22.09bB	25.92	8.21bB	35.28
改良剂	27.20aA	55.08	8.68bB	42.99
秸秆	20.34cC	15.98	8.24bB	35.76
有机肥	27.05aA	54.25	11.78aA	94.15

注:同列中平均值后小、大写字母不同分别表示差异达显著水平($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$)。

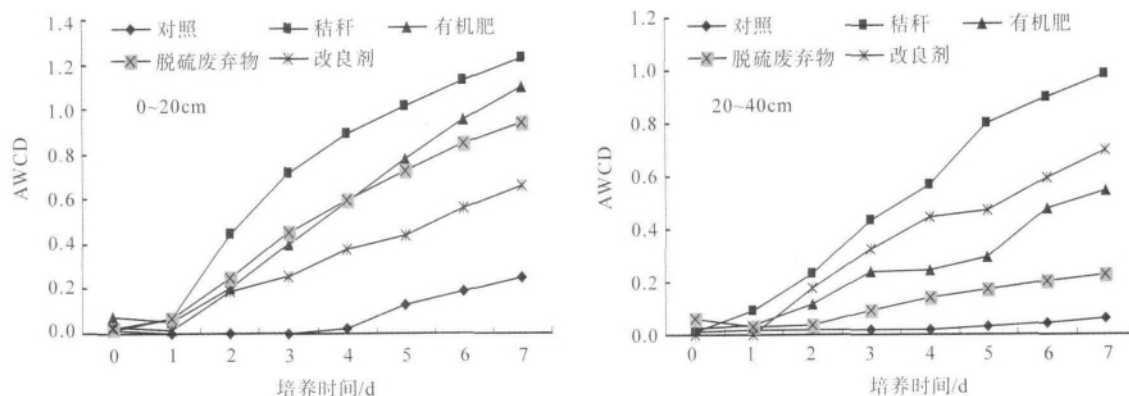


图 4 不同改良措施对盐碱地土壤微生物群落总碳源利用的影响

2.3 土壤微生物区系与微生物多样性、土壤性质之间的相关关系

将不同改良措施的盐碱地土壤微生物区系与微生物多样性、土壤性质之间进行相关性分析(表 2)可知,土壤细菌数量、微生物总数、微生物总碳源利用特征与土壤 pH 值、全盐含量之间呈负相关关系,与土壤容重之间呈显著或极显著负相关关系。说明盐碱地土壤 pH 值、全盐含量、容重是土壤细菌和微生物总数最直接的障碍因子,而且对土壤微生物碳源利用能力也有一定的限制作用,其中容重影响作用比较显

著。细菌数量、微生物总数与土壤孔隙度、非毛管孔隙度之间呈极显著正相关关系。放线菌数量、微生物总数与丰富度指数和多样性指数之间呈显著正相关关系,真菌数量与均匀度指数、多样性指数之间呈显著正相关关系,微生物总碳源利用特征与均匀度、丰富度、多样性指数之间均呈极显著正相关关系。说明土壤微生物多样性越高,微生物数量尤其是细菌数量越大,微生物种类越丰富,土壤微生物总碳源代谢能力越强,有利于盐碱地土壤改良,改善盐碱地土壤结构和孔隙度,更有利于作物生长和产量提高。

表 2 盐碱地不同改良措施下土壤微生物区系与微生物多样性、土壤性质之间的相关性

项目	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	微生物总数	微生物总碳源利用
pH	-0.634*	0.468	0.243	-0.605*	-0.131
全盐	-0.765*	0.433	0.124	-0.739*	-0.100
容重	-0.894**	-0.192	-0.392	-0.892**	-0.549*
孔隙度	0.840**	0.352	0.315	0.835**	0.281
非毛管孔隙度	0.964**	-0.017	0.310	0.955**	0.311
丰富度指数	0.071	0.459	0.614*	0.606*	0.904**
均匀度指数	0.481	0.748*	0.234	0.200	0.917**
多样性指数	0.181	0.574*	0.524*	0.507*	0.970**

注:*,** 分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平上差异显著。

盐碱地土壤 pH 值、全盐含量及容重限制了土壤微生物活动,尤其对细菌的生长活动有重要的影响,而容重是其中最主要的障碍因子。盐碱地土壤环境越恶劣,土壤容重越大,土壤质地越紧密,土壤孔隙越小,好氧微生物可利用氧气越少,不利于土壤微生物繁殖和生存,其活性越差,微生物丰富度和多样性越低,反之则越高。土壤微生物数量尤其是细菌数量越多,微生物活动越旺盛,土壤有机物质的矿化速度加快,土壤养分库存丰富,养分充足,利于作物营养元素的吸收和根系分泌物质的增加,相应的土壤中微生物的丰富度和多样性越高。

3 结论与讨论

土壤微生物在土壤中的分布受到多种因素的影

响,除土壤养分外,还受土壤的物理性质和其他环境因子的影响,比如微生物生长与环境中氧气的含量、土壤的通透性紧密相关。土壤微生物群落是一个组成复杂的群体,不同微生物种类所要求的营养元素不尽相同^[20-21]。本研究结果表明,各改良措施增加了土壤微生物群落对碳源的利用能力,0~20 cm 土壤依次表现为秸秆>有机肥>脱硫废弃物>改良剂>对照,20~40 cm 土壤依次表现为秸秆>改良剂>有机肥>脱硫废弃物>对照。改良剂和有机肥处理能够显著增加土壤细菌数量;脱硫废弃物处理显著降低土壤真菌数量,秸秆处理增加了土壤真菌数量;脱硫废弃物、有机肥和秸秆处理与对照相比能够增加土壤放线菌数量。说明秸秆还田具有良好的盐碱地土壤改良作用,可以减缓由于传统耕作导致

的土壤肥力损失的趋势,增加土壤的微生物多样性^[22],这与赵勇等研究秸秆还田后土壤微生物群落结构的变化结果一致^[23-24]。有研究表明,施用有机肥能够显著增加土壤细菌、放线菌和真菌的数量,腐熟猪粪配施化肥处理细菌含量最高,说明施用有机肥为土壤微生物提供了较多的能源与养分,特别是有机碳源,为微生物生命活动提供所需能量,且有机肥本身也含有大量活的微生物,促进了土壤微生物大量繁殖,使土壤微生物的新陈代谢加快,施有机肥更有利于提高土壤微生物活性以及维持土壤营养元素的良好循环^[25]。本研究结果表明,各处理土壤细菌数量、微生物总数与 pH 值、全盐含量、容重间呈负相关关系,与土壤孔隙度呈极显著正相关关系($P < 0.01$),说明盐碱地土壤 pH 值、全盐含量、容重是土壤微生物数量和活性的限制因子,同时容重也是限制土壤微生物丰富度和多样性的主要因子。盐碱地土壤尤其是碱化土壤板结严重,土壤紧实,土壤孔隙度降低,不利于好氧微生物活动和繁殖。通过利用秸秆、有机肥、改良剂和烟气脱硫废弃物等改良盐碱地,使得土壤结构发生改变,孔隙度增加,容重降低,利于微生物繁殖和提高微生物群落代谢水平,从而改善土壤质量。因此,在盐碱地改良中,单一的改良措施对土壤理化性质、微生物等其中的某一特征能起到很好的作用,如果能够将上述几种改良措施综合起来应用于实践中,则盐碱地改良效果会更加显著。

参考文献:

- [1] 崔红标,梁家妮,范玉超,等.磷灰石等改良剂对铜污染土壤的修复效果研究[J].土壤,2011,43(2):247-252.
- [2] Liu X Y, Lindelmann W C, Whitford W G, et al. Microbial diversity and activity of disturbed soil in the northern Chihuahuan Desert [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 32(3): 243-249.
- [3] 俞慎,李勇,王俊华.土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J].土壤学报,1999,36(3):413-422.
- [4] 张彬,何红波,白震.保护性耕作对土壤微生物特性和酶活性的影响[J].土壤通报,2010,41(1):230-236.
- [5] Schutter M, Dick R. Shift in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrate [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(11): 1481-1491.
- [6] 范丙全.不同农业措施影响下土壤微生物多样性演化规律研究[D].北京:中国农业科学院,2003:9-12.
- [7] 肖国举,罗成科,白海波,等.脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究[J].生态环境学报,2009,18(6): 2376-2380.
- [8] 白海波,毛桂莲,李晓慧.脱硫废弃物对盐碱地水稻幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J].西北农业学报,2009,18(3):122-126.
- [9] 张俊华,孙兆军,贾科利,等.燃煤烟气脱硫废弃物及专用改良剂改良龟裂碱土的效果[J].西北农业学报,2009,18(5):208-212.
- [10] 李凤霞,王学琴,郭永忠,等.宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J].水土保持学报,2011,25(5):107-111.
- [11] 康贻军,胡健,董必慧.滩涂盐碱土壤微生物生态特征的研究[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):181-183.
- [12] 弋良朋,马健,李彦.荒漠盐生植物根际土壤酶活性的变化[J].中国生态农业学报,2009,17(3):500-505.
- [13] 牛灵安,郝晋琨,覃莉,等.盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究[J].土壤学报,2005,42(1):84-90.
- [14] Gamalero E, Berta G, Glick B R. The use of microorganisms to facilitate the growth of plants in saline soils [M] // Khan M S, Zaidi A, Musarrat J. Microbial strategies for crop improvement. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2009: 1-22.
- [15] 李凤霞,杨涓,许兴,等.烟气脱硫废弃物在盐碱地土壤改良中的应用研究进展[J].土壤,2010,42(3): 352-357.
- [16] 刘茂松,鲁小珍,王汉杰,等.宁夏平罗西大滩人类有序活动的环境效应及发展对策[J].南京林业大学学报:自然科学版,2001,25(3):83-88.
- [17] 李凤霞,杨涓,许兴,等.脱硫废弃物施用对盆栽油菜碱化土壤微生物多样性的影响[J].土壤,2011,43(2):270-276.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985:85-176.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1983:62-136.
- [20] 郑华,欧阳志云,方治国,等. BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用[J].土壤学报,2004,41(3):456-461.
- [21] 时亚南.不同施肥处理对水稻土微生物生态特性的影响[D].杭州:浙江大学,2007:37-41.
- [22] Crecchio C, Curci M, Pellegrino A, et al. Soil microbial dynamics and genetic diversity in soil under monoculture wheat grown in different long-term management systems [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(6): 1391-1400.
- [23] Peixoto R S, Coutinho H L C, Madari B, et al. Soil aggregation and bacterial community structure as affected by tillage and cover cropping in the Brazilian Cerrados [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 90(1): 16-28.
- [24] 赵勇,李武,周志华,等.秸秆还田后土壤微生物群落结构变化的初步研究[J].农业环境科学学报,2005,24(6):1114-1118.
- [25] 陈梅生,尹睿,林先贵,等.长期施有机肥与缺素施肥对潮土微生物活性的影响[J].土壤,2009,41(6): 957-961.