

不同改良措施对银川平原盐碱地 土壤性质及酶活性的影响

李凤霞¹, 王学琴^{2,3}, 郭永忠^{3,4}, 许兴³, 杨建国¹, 柯英¹, 肖红艳¹

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

摘要: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进行改良后土壤理化性质及土壤酶活性的变化。结果表明:4 种改良措施对土壤 pH 值、全盐含量、土壤容重均有不同程度的降低,脱硫废弃物和改良剂处理降低土壤 pH 值和全盐含量效果显著,改良剂和有机肥处理降低土壤容重、增加土壤孔隙度的效果显著。盐碱地改良后土壤转化酶活性、脲酶活性和碱性磷酸酶活性增加的幅度分别为 0.02%~85.0%, 2.7%~53.3%, 17.9%~49.7%, 各改良措施对过氧化氢酶活性的影响不显著。土壤 pH 值、全盐含量和土壤容重之间互成显著正相关关系($p < 0.05$),与土壤孔隙度呈显著负相关关系($p < 0.05$);土壤容重与土壤孔隙度、过氧化氢酶、脲酶活性之间达到显著负相关关系($p < 0.05$),土壤碱性磷酸酶、转化酶、土壤过氧化氢酶和脲酶之间互成显著正相关关系($p < 0.05$)。

关键词:土壤酶活性; 土壤性质; 盐碱地; 改良; 银川平原

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0013-06

Effect of Soil Properties and Soil Enzyme Activity in Different Improvement Measures of Saline-alkali Soil in Yinchuan Plain

LI Feng-xia¹, WANG Xue-qin^{2,3}, GUO Yong-zhong^{3,4}, XU Xing³, YANG Jian-guo¹, KE Ying¹, XIAO Hong-yan¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2. Institute of Technology Development Strategy and Information, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 4. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 7500021, China)

Abstract: The soil properties and soil enzyme activities in saline-alkali land of the Yinchuan Plain were studied after the soil was improved with straw, organic fertilizer, flue gas desulfurization waste and saline-alkali soil conditioner. The results showed that four measures reduced soil pH, total salt content and soil bulk density to some extent, flue gas desulfurization waste and saline-alkali soil conditioner significantly reduced soil pH and total salt content, saline-alkali soil conditioner and organic fertilizer reduced soil bulk density and increased soil porosity remarkably. The improvement measures significantly increased soil invertase activity, urease and alkaline phosphatase activity after improvement, the increase rates were 0.02%~85.0%, 2.7%~53.3%, 17.9%~49.7%, respectively. The effect of the improvement measures on change of catalase activity was not significant. There was a positive correlation relationship($p < 0.05$) among soil pH, total salt content and soil bulk density, and soil porosity had a negative correlation relationship with soil pH, total salt content($p < 0.05$). There was a negative correlation relationship($p < 0.05$) among soil bulk density and soil porosity, hydrogen peroxide enzyme, urease activity. There was a positive correlation relationship($p < 0.05$) among soil alkaline phosphatase, invertase, catalase and urease activity.

Key words: soil enzyme activity; soil properties; saline-alkali soil; improvement; Yinchuan Plain

收稿日期:2012-03-29

修回日期:2012-06-05

资助项目: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:李凤霞(1977—),女,宁夏固原人,博士,助理研究员,主要从事盐碱地改良和土壤微生物方面的研究工作。E-mail: lifengxia1211@sina.com

土壤盐碱化问题是目前全球最严重的环境问题之一,在人口不断增长,耕地逐渐减少的情况下,改良利用盐碱地对于我国内陆干旱农业灌区农村经济持续健康发展、国土治理、生态环境保护等具有重要意义。银川平原地处中温带半干旱、干旱区,降水稀少(平均年降水量 292 mm),蒸发强烈(水面蒸发量 1 296 mm),其中土壤盐渍化问题已成为影响宁夏农业生产的重要问题之一^[1]。近年来,学者们在宁夏银川盐碱地改良方面做了大量的研究工作,尤其是以燃煤烟气脱硫废弃物为主进行土壤改良并种植水稻、油菜、甜高粱等,也取得了一些重要成果^[2-6],但是对不同改良措施下盐碱地土壤微生物及土壤酶活性方面报道较少^[7-9]。土壤环境中,土壤酶类参与土壤中一切复杂的生物化学过程,包括枯落物的分解、腐殖质及各种有机化合物的分解与合成、土壤养分的固定与释放以及各种氧化还原反应,具有特殊的催化能力,在一定程度上反映了土壤养分转化的动态情况^[10]。土壤酶活性可以反映土壤中生物代谢和物质转化过程及其程度。进入土壤和累积在土壤中的含氮有机化合物经复杂的生物化学转化,最后转变为植物可以利用的形式,在其转化的每一阶段,均有专性的土壤酶类参与^[11]。为此,在银川平原进行不同改良措施改良盐碱地的试验研究,探索不同改良措施对盐碱地土壤理化性质、土壤酶活性的影响,分析土壤理化性质与土壤酶活性之间的关系,从土壤酶活性角度探讨不同改良措施对盐碱地的改良效果,为盐碱地土壤改良提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在银川平原西大滩盐碱地试验基地进行,该试验基地位于东经 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,7—9 月 3 个月降水量占 66.6%,年平均蒸发量达 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,年均气温 8.5℃,昼夜温差 8~15℃,全年无霜期 150 d^[12-13]。

1.2 试验材料

试验种植的紫花苜蓿品种为雷达克之星,购自北京克劳沃草业公司。燃煤烟气脱硫废弃物来自宁夏马莲台电厂,其化学成分为 CaO:37.70%,SiO₂:2.17%,Al₂O₃:0.63%,Fe₂O₃:0.55%,MgO:0.77%,TiO₂:0.05%,K₂O:0.11%,Na₂O:0.10%,MnO:0.02%,P₂O₅:0.03%^[14]。盐碱地改良剂来自宁夏大学研发的产品(主要成分为糠醛渣);有机肥采用牛粪;秸秆

采用玉米杆粉碎成 3 cm 长段。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。

1.3 试验设计

试验共设 5 个处理,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,每个处理重复 3 次。各改良物料于 2009 年 10 月秋季施入土壤后深耕,灌冬水,2010 年 4 月中旬播种,各处理全生育期灌水等其它田间管理措施一致,为了避免肥料使用对土壤酶活性的影响,整个试验期间不施肥料。

1.4 测定指标及方法

在苜蓿出苗后,分别于 5 月、7 月、9 月下旬用土钻采集 0—20 cm 土壤放入无菌塑料袋内,每种处理的 3 个土壤样品放入同一个无菌塑料袋内,混合均匀后分成两份置于存有冰块的取样箱中带回实验室内备用,一份用于测定土壤酶活性特征,另一份土壤样品风干后过 1 mm 筛用于土壤 pH 值、全盐含量测定。同时于 7 月下旬进行土壤容重及孔隙度测定。土壤脲酶活性采用比色法测定(1 h 后每百克土的 NH₃-N 毫克数表示),转化酶采用滴定法(以 1 h 后单位土重的 0.1 mol/L 硫代硫酸钠与对照测定差值毫升数表示),土壤碱性磷酸酶活性采用苯磷酸二钠法(以 1 h 后每克干土释放的酚的毫克数表示),过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定(以每克土重的 0.1 mol/L 高锰酸钾与对照测定差值毫升数表示)^[15]。土壤容重和孔隙度采用环刀法,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),土壤其它参数采用常规分析方法测定^[16]。实验数据采用 Excel 和 DPSV 9.5 软件进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良措施对土壤理化性质的影响

2.1.1 对土壤 pH 值和全盐含量的影响 不同改良措施对土壤 pH 值的影响结果(图 1)表明,各改良措施对土壤 pH 值都有一定的降低作用,pH 值降低的幅度为 0.03~2.3,但是各处理降低的幅度在不同时期差异显著。5 月各处理对土壤 pH 值降低的幅度不大,在 0.09~0.26 之间,以脱硫废弃物降低的效果最显著。7 月各改良措施与对照之间差异显著,降低土壤 pH 值 0.07~0.59 之间,降低的幅度依次为改良剂>脱硫废弃物>秸秆>有机肥>对照。到 9 月,

改良剂和脱硫废弃物处理土壤 pH 值在 8.4 左右,对照的 pH 值达到 9.2 以上。说明随着改良时间的推

移,各改良措施对土壤 pH 值的降低效果越明显,而对照处理的 pH 值随着时间推移反而增加。

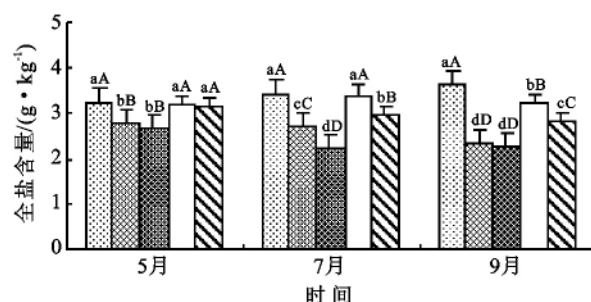
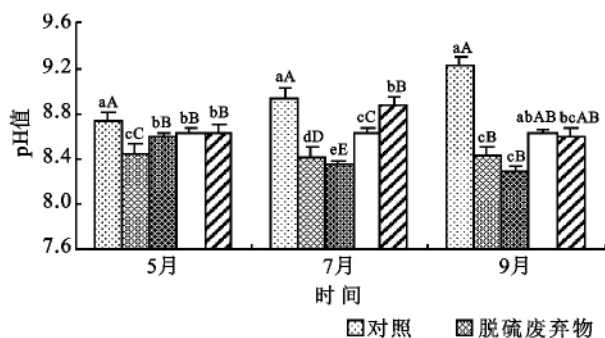


图 1 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤 pH 值和全盐含量的影响

注:对不同处理之间进行了显著性差异检验;a,A 分别表示在 $p<0.05$, $p<0.01$ 水平上差异显著。字母不同表示该指标在不同处理下有显著性差异。

不同改良措施对银川平原盐碱地土壤全盐含量的影响(图 1)表明,4 个处理与对照相比对土壤全盐含量均有不同程度的降低。但在不同时期,降低的幅度不同。5 月,改良剂和脱硫废弃物的降低的效果比较显著。到了 7 月,土壤全盐含量降低的幅度在 0.3~1.23 g/kg。除了秸秆外,其余各处理与对照之间差异均达到显著水平。9 月,各改良处理表现出与 7 月一致的效果,降低的幅度为 0.36~1.34 g/kg。脱硫废弃物和改良剂改良盐碱地对土壤化学性质有很好的作用,这与各改良物料本身的性质有关。脱硫废弃物通过化学反应,置换出盐碱土壤中的碱性成分,并通过物理过程,最终达到降低土壤含盐量和 pH 值的作用,这一结论与李焕珍^[17]、王金满^[18]、陈欢^[19]等的研究结果一致。石懿^[20]提出,在使用脱硫废弃物后土壤 0—15 cm 的 pH 值较对照均有明显的降低,且不同处理的试验效果差异较大。任坤^[21]等通过室内

土柱混合置换试验提出碱化土壤经过不同浓度的 CaSO_4 溶液淋溶,土壤的 pH 值得到了不同程度的降低。

2.1.2 对土壤容重和孔隙度的影响 土壤容重的大小与土壤质地、结构、有机质含量、土壤紧实度、耕作措施等有关。不同改良措施对银川平原盐碱地土壤容重的影响(图 2)表明,各改良措施能够明显降低土壤容重 4.3%~8.5%,改良剂处理降低土壤容重的效果最好,依次为有机肥、脱硫废弃物、秸秆,方差分析表明各处理间差异达到显著水平($p<0.01$)。各改良措施都不同程度地增加了土壤总孔隙度,秸秆、有机肥和改良剂对土壤总孔隙度增加的效果显著,增加的幅度依次分别为 8.61%,10.94%,17.64%。脱硫废弃物处理与对照之间差异不显著,秸秆和有机肥处理之间差异不显著,其余各处理与对照之间差异达到极显著水平($p<0.01$)。

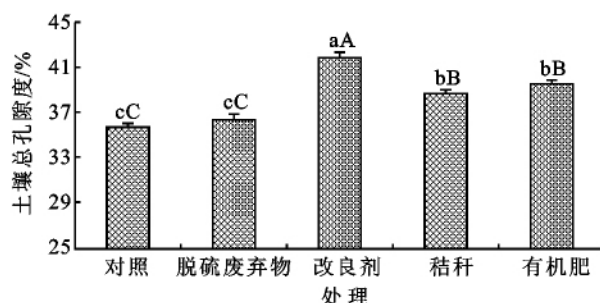
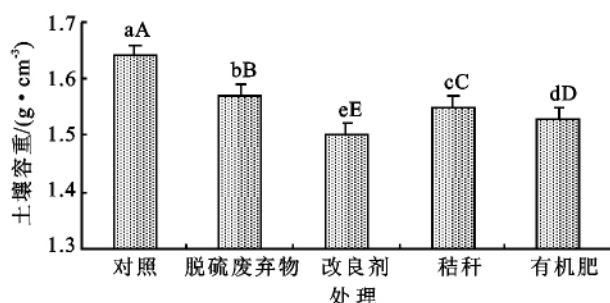


图 2 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤容重和孔隙度的影响

2.2 不同改良措施对盐碱地土壤酶活性的影响

2.2.1 对碱性磷酸酶活性的影响 磷酸酶活性能够促进有机磷化合物的水解,土壤微生物对于土壤含磷有机物质的矿化起着主要的作用。土壤的磷酸酶活性可以表征土壤的肥力尤其是磷的状况。不同改良措施处理土壤碱性磷酸酶活性见图 3,秸秆和有机肥处理对土壤的碱性磷酸酶活性有显著的促进作用,土

壤碱性磷酸酶活性较对照增加了 17.9%~49.7%,土壤碱性磷酸酶活性季节变化表现为 7 月最高,其次为 9 月,5 月最低。

2.2.2 对过氧化氢酶活性的影响 各改良措施均能够增加土壤过氧化氢酶活性,不同改良措施对过氧化氢酶活性的影响相对较小,其增加的效果在 5 月和 7 月表现不明显,在 9 月份对土壤过氧化氢酶活性增加

的幅度为 0.95%~5.47%, 有机肥和秸秆处理与对照之间的差异达到显著水平, 脱硫废弃物和改良处理剂与对照之间差异不显著。本研究与李传荣^[10]的造

林模式对盐碱地过氧化物酶的影响较小结果一致。土壤过氧化氢酶活性季节变化趋势表现为 9 月最高, 其次为 5 月, 7 月最低。

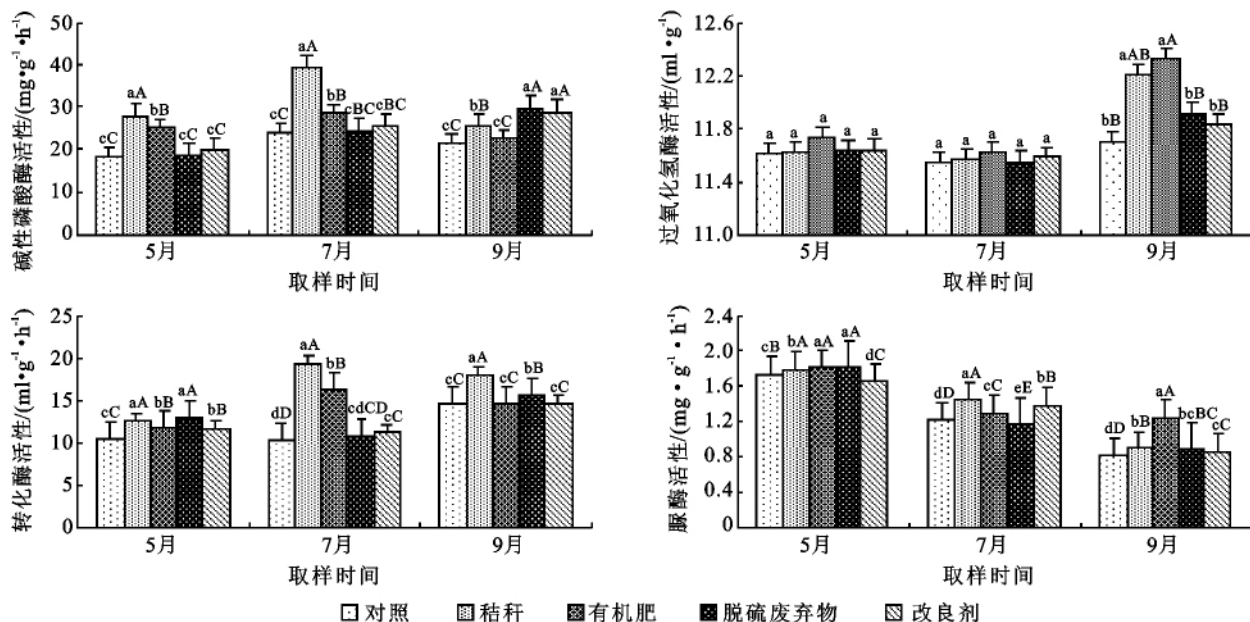


图 3 不同改良措施对银川平原盐碱地土壤(0—20 cm)酶活性的影响

2.2.3 对转化酶活性的影响 转化酶又叫蔗糖酶, 它能够促进蔗糖分子中的键断裂, 使蔗糖水解成葡萄糖和果糖。土壤的转化酶活性与土壤中的腐殖质、水溶性有机质黏粒含量及微生物的数量及其活动成正比。随着土壤熟化度的提高, 转化酶活性亦增强。研究表明不同改良措施对土壤转化酶活性都有明显的促进作用(图 3), 秸秆和有机肥处理在整个苜蓿生育期增加土壤转化酶活性的效果最好, 增加了 0.02%~85.01%, 其次是脱硫废弃物和改良剂处理。方差分析表明, 各处理之间差异达到显著水平($p < 0.01$)。土壤转化酶活性季节变化趋势表现为 9 月 > 7 月 > 5 月。

2.2.4 对脲酶活性的影响 土壤脲酶能够促进土壤中含氮有机化合物尿素分子酰胺肽键的水解, 生成的氨是植物氮素营养来源之一, 通常土壤脲酶活性可以表示土壤氮素情况。各处理措施土壤脲酶活性较对照有显著的增加, 增加的幅度在 2.71%~53.3% (图 3), 但各处理在不同时期表现不尽相同, 5 月脱硫废弃物和改良剂效果最显著; 7 月以秸秆、改良剂、有机肥效果显著; 9 月各处理的土壤脲酶活性大小依次为秸秆 > 有机肥 > 脱硫废弃物 > 改良剂 > 对照。土壤脲酶活性季节变化趋势表现为 5 月 > 7 月 > 9 月, 而且各改良措施随着季节推移增加土壤脲酶活性的幅度增加。研究表明, 植被恢复能够增强土壤脲酶活性, 随着恢复年限的增加, 脲酶活性增加了 39%~229%^[22]。

2.3 土壤酶活性与土壤理化性质间的相关分析

目前对黄土丘陵区草地、高寒草地及人工草地土壤酶活性与土壤性质的关系已有很多研究^[23-25], 如长期培肥土壤酶活性与土壤肥力的关系, 林地土壤酶活性与营养元素的关系, 而银川平原盐碱地土壤酶活性与土壤理化性质的关系研究较少。本文相关性分析结果(表 1)表明, 土壤 pH 值、全盐含量和土壤容重之间互成显著正相关关系($p < 0.05$), 与土壤孔隙度成显著负相关关系($p < 0.05$)。土壤容重与土壤孔隙度、过氧化氢酶、脲酶活性之间达到显著负相关关系($p < 0.05$), 与其余各指标均成负相关关系。土壤碱性磷酸酶、转化酶、土壤过氧化氢酶和脲酶之间互成显著正相关关系($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$), 与土壤 pH 值、全盐含量和土壤孔隙度之间相关关系未达到显著水平。

3 结论

秸秆、有机肥、脱硫废弃物、盐碱地改良剂 4 个改良措施对土壤 pH 值、全盐含量、土壤容重均有不同程度的降低, 脱硫废弃物和改良剂处理降低土壤 pH 值和全盐含量效果最显著, 改良剂和有机肥处理降低土壤容重、增加土壤孔隙度效果显著。各改良措施对土壤转化酶活性、脲酶活性和碱性磷酸酶活性都有显著的增加, 增加的幅度依次分别在 0.02%~85.0%, 2.7%~53.3%, 17.9%~49.7%, 对过氧化氢酶活性的影响效果不显著。盐碱地各处理土壤 pH 值、全盐含量

和土壤容重之间互成显著正相关关系,与土壤孔隙度成显著负相关关系。土壤容重与土壤孔隙度、过氧化氢酶、脲酶活性之间呈显著负相关关系。而土壤酶活性与土壤 pH 值、全盐含量、土壤孔隙度之间相关关系与前人结论不一致,因此,对盐碱地土壤酶活性与土壤理化性质的相关关系有待于进一步研究证实。

表 1 银川平原盐碱地土壤性质与土壤酶活性间的相关关系

项目	pH	全盐	容重	孔隙度	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	转化酶	脲酶
pH	1.000							
全盐	0.978**	1.000						
容重	0.610*	0.702*	1.000					
孔隙度	-0.640*	-0.577*	-0.924**	1.000				
碱性磷酸酶	0.086	0.112	-0.477	0.361	1.000			
过氧化氢酶	0.123	0.042	-0.619*	0.395	0.602*	1.000		
转化酶	0.259	0.289	-0.327	0.191	0.966**	0.693*	1.000	
脲酶	0.177	0.083	-0.637*	0.427	0.609*	0.996**	0.697*	1.000

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

4 讨论

虽然土壤酶活性能够较好地体现土壤养分状况,但植物类型对盐碱地土酶活性有较大的影响^[26-27]。据本研究,脱硫废弃物和改良剂改良盐碱地对土壤化学性质有很好的作用,而秸秆和有机肥对土壤物理性质效果明显。这与各改良物料本身的性质有关,脱硫废弃物通过化学反应,置换出盐碱土壤中的碱性成分,并通过物理过程,最终达到降低土壤含盐量和 pH 值的作用,改善了土壤微生物生存和活动的环境,促进了微生物代谢和活性的提高。改良剂主要成分是糠醛渣,属于酸性物质,能够中和土壤中的碱性成分,最终改善土壤的理化性状,提高土壤通透性,促进土壤生物化学过程和有机物的进一步转化,对土壤酶活性有一定的改善作用。有机肥施入土壤后,改善了土壤的容重和孔隙度,增加了土壤有机碳,利于根系生长并为好氧微生物活动提供了能源,进一步促进了微生物对土壤营养元素的矿化作用,提高了土壤微生物活性。采用秸秆还田是最廉价和环保的材料,其腐熟后能够产生腐质酸,秸秆的碳/氮高,能够为微生物提供大量的碳、氮元素作为能源,加速微生物的矿化作用和土壤酶活性。对盐碱地改良后土壤理化性状及生物学性质的研究比较多,由于受到不同区域及不同植被类型的影响,有些研究只针对单一的改良措施或某一特定的作物而言。李传荣在山东黄河三角洲滩涂盐碱地研究得出土壤脲酶活性与土壤 pH 值相关性不显著^[10]。但对盐碱地土壤酶活性与土壤盐分、pH 值之间的相关关系结果不一^[28],毛志刚^[29]研究认为土壤酶活性与土壤盐分、pH 值之间存在显著负相关。还有研究表明过氧化氢酶与土壤 pH 值呈正相关关系,蔗糖酶,脲酶和碱性磷酸酶的 pH 值呈负相

关^[30-31]。另外,土壤酶活性与其它因素如土壤质量、地形(坡位)等密切相关^[32-33]。因此,对于盐碱地土壤酶活性与土壤理化性质的关系还需要进一步研究证实。结合本研究,建议在实践应用中将上述几种改良措施综合起来进行盐碱地改良,对土壤的改良效果会更加显著,但其交互作用及最佳配比需要进一步深入研究。

参考文献:

[1] 李茜,孙兆军,秦萍. 宁夏盐碱地现状及改良措施综述[J]. 安徽农业科学,2007,35(33):10808-10810.

[2] 牛灵安,郝晋珉,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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 秦萍,肖国举,罗成科,等. 燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤种植甜高粱的施用量研究[J]. 现代农业科学,2008,15(12):32-35.

[6] 王金满,杨培岭,石懿,等. 脱硫副产物对改良碱化土壤的理化性质与作物生长的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(3):34-37.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 李传荣,许景伟,宋海燕,等. 黄河三角洲滩地不同造林

- 模式的土壤酶活性[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 802-809.
- [11] 左智天, 田昆, 向仕敏, 等. 澜沧江上游不同土地利用类型土壤氮含量与土壤酶活性研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 280-285.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 马雪莲, 罗成科, 许强, 等. 燃煤烟气脱硫废弃物对宁夏银川北部中度盐碱地及油葵生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(10): 3046-3047.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 李焕珍, 徐玉佩, 杨伟奇, 等. 脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果研究[J]. 生态学杂志, 1999, 18(1): 25-29.
- [18] 王金满, 杨培岭, 石懿, 等. 脱硫副产物对改良碱化土壤的理化性质与作物生长的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 34-37.
- [19] 陈欢, 王淑娟, 陈昌和, 等. 烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 38-42.
- [20] 石懿, 杨培岭, 张建国, 等. 利用和分析脱硫石膏改良碱化土壤的机理[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(4): 4-9.
- [21] 任坤, 任树梅, 杨培岭, 等. CaSO_4 在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4): 77-80.
- [22] 张笑培, 杨改河, 任广鑫, 等. 黄土高原南部植被恢复对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 64-68.
- [23] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277-280.
- [24] 曹帮华, 吴丽云. 滨海盐碱地刺槐白蜡混交林土壤酶与养分相关性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 128-133.
- [25] 鲁萍, 郭继勋, 朱丽. 东北羊草草原主要植物群落土壤过氧化氢酶活性的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 675-679.
- [26] 岳中辉, 王博文, 王洪峰, 等. 松嫩草原盐碱土过氧化物酶活性及其与肥力因素的关系[J]. 草地学报, 2009, 17(3): 294-297.
- [27] 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, 43(3): 352-357.
- [28] 李俊华, 沈其荣, 褚贵新, 等. 氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性和养分有效性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 277-284.
- [29] 毛志刚, 谷孝鸿, 刘金娥, 等. 盐城海滨湿地盐沼植被及农作物下土壤酶活性特征[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 5043-5049.
- [30] Wan Fuxu, Chen Ping. Soil enzyme activities under agroforestry systems in northern Jiangsu Province[J]. Forestry Studies in China, 2004, 6(2): 21-26.
- [31] 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.
- [32] 刘艳, 马风云, 宋玉民, 等. 黄河三角洲冲积平原湿地土壤酶活性与养分相关性研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 59-61.
- [33] 成毅, 安韶山, 马云飞, 等. 宁南山区不同坡位土壤微生物生物量和酶活性的分布特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 148-153.