

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.21103

玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 主要盐碱化指标的影响

王楠, 张鑫, 刘金华, 臧金宇, 赵兴敏*, 王鸿斌, 赵兰坡

[吉林农业大学资源与环境学院, 农业农村部盐碱土改良与利用(东北内陆盐碱地)
重点实验室, 吉林 长春 130118]

摘要: 采用室内培养试验研究添加玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 pH 值、可溶性盐含量和阳离子交换量的影响, 旨在为盐碱土合理改良利用提供理论依据。研究发现, 加入玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 后, 苏打盐碱土 pH 值有不同程度的降低。当 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量为 0% ~ 0.8% 时, 随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加, 苏打盐碱土 pH 值急剧下降, 而当 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量继续增加时, 则 pH 值变化较缓慢。 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量相同时, 玉米秸秆的添加对降低苏打盐碱土的 pH 值具有略微促进的作用。在玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的共同作用下, 苏打盐碱土 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量均升高, 而 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的含量则随着玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加而逐渐降低。玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的加入使苏打盐碱土的阳离子交换量也有所增加, 阳离子与土壤胶体上的 Na^+ 进行置换, 最终使苏打盐碱土碱化度下降。综合而言, 试验条件下, 15% 玉米秸秆和 0.8% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土的改良效果最佳。

关键词: 盐碱土; 玉米秸秆; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 可溶性盐含量; 碱化度

我国松嫩平原盐碱地面积约为 500 万 hm^2 , 而吉林省西部盐碱土总面积约为 173 万 hm^2 , 占松嫩平原总面积的 34%^[1], 是世界三大盐碱地集中区之一。在农业生产中, 盐碱化土壤是低产土壤。吉林省西部水田面积占耕地面积的 21.9%, 受盐碱地影响, 单产仅为 3000 kg/hm^2 ^[2], 其余大部分则是低产低效的旱田^[3]。但盐碱地分布区大多地势平坦、土层深厚并且便于灌溉。因此, 盐碱土又是一种开发利用潜力巨大的土地资源。盐碱土具有可溶性盐含量和 pH 值高等特点, 导致土壤肥力弱, 粮食产量普遍较低^[4]。在土壤众多理化指标中, 土壤碱化度是一个重要的土壤性质, 影响土壤养分的有效性^[5]。盐碱土区土壤 pH 值、可溶性盐含量和碱化度能够体现出苏打盐碱土改良的效果^[6], 探明以上指标的变化对于综合评价盐碱化的改良效果具有重要意义。

近年来, 盐碱土改良利用成为人们研究的热点, 许多学者采用物理、化学、生物等^[7-9]方法对盐碱土进行改良, 并取得了一定的成效。本课题组一直致力于苏打盐碱土的改良利用, 并且在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 作为化学改良剂改良苏打盐碱土方面已取得了诸多研究成果。研究发现, 苏打盐碱土加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 后, 可明显降低土壤的 pH 值, 并且随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入次数的增加, pH 值逐渐降低^[10]。盐碱土中加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 后, 溶解态 Na^+ 增多^[11]。马玉涛等^[12]通过田间试验研究施用 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对新开垦苏打盐碱水田的快速改良和培肥效果时发现, 施用 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 后土壤碱化度显著降低。王宇等^[13]研究表明, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入盐碱土后, 土壤 pH 值降低、阳离子交换量呈显著递增趋势, 碱化度明显降低, 表明土壤结构得到了良好改善。在土壤盐碱化程度得以降低的基础上, 进一步增加有机质含量, 提高盐碱土肥力, 是实现粮食增产的又一重要举措。目前, 提高盐碱土有机质含量切实可行的方法就是秸秆还田^[14]。秸秆还田既能改善土壤的理化性质^[15], 又可以为土壤提供养分^[16-17], 是一种有效的盐碱土改良方法。秸秆还田对表层土壤 pH 值的影响较大, 且随着还田年限的延长, 土壤 pH 值

收稿日期: 2021-02-20; 录用日期: 2021-06-02

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20170204002SF); 国家重点研发计划项目(2018YFD0300201)。

作者简介: 王楠(1995-), 硕士研究生, 主要从事盐碱土改良剂机理及技术研究。E-mail: wangnan95124@163.com

通讯作者: 赵兴敏, E-mail: zhaoxingmin0704@163.com。

表现出一定的下降趋势^[18],同时,秸秆还田增加了土壤中的阳离子交换量,进而使土壤的碱化度降低,明显改良了盐碱化土壤^[19]。

目前,关于 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、秸秆单一使用对盐碱土的改良已经开展了一些研究^[12, 16-18],但关于二者同时使用对苏打盐碱土的改良效果及机制尚不清楚。因此,本文以吉林省西部苏打盐碱土为供试土壤,研究玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 pH 值、可溶性盐含量和阳离子交换量的复合作用效果,并进一步揭示苏打盐碱土盐分和碱化度的变化,为苏打盐碱土高效改良及合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试硫酸铝为工业 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 。

供试玉米秸秆取自吉林农业大学试验田,田间自然风干后再放入 25°C 烘干箱中烘干,取出杂物,粉碎并过 1 mm 筛,此秸秆的有机碳含量为 486.14 g/kg。

供试苏打盐碱土采自吉林省大安市安广镇乐胜乡(45.56°N, 123.78°E),采用对角线布点法,共布置 36 个采样点,每个采样点采样深度为 0~20 cm,样品采集后混合均匀,用四分法获取 4 kg。样品带回实验室后,自然风干,研磨过 2 mm 筛备用^[20],苏打盐碱土的主要化学指标如表 1 所示。

表 1 苏打盐碱土的主要化学指标

| 基本指标 | 含量 |
|------------------------------|--------|
| pH 值 | 10.02 |
| 含盐量 (%) | 0.65 |
| 碱化度 (%) | 58 |
| 电导率 (mS/cm) | 0.507 |
| 有机质 (g/kg) | 15.099 |
| 阳离子交换量 (cmol/kg) | 14.25 |
| K^+ (cmol/kg) | 0.013 |
| Na^+ (cmol/kg) | 1.987 |
| Ca^{2+} (cmol/kg) | 0.6293 |
| Mg^{2+} (cmol/kg) | 0.8257 |
| CO_3^{2-} (cmol/kg) | 0.3459 |
| HCO_3^- (cmol/kg) | 0.6879 |

1.2 室内模拟试验

试验中玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 分别设置 4 个

和 6 个用量水平,共计 24 个处理,具体情况见表 2。依据表 2 中各处理的设置情况,向 500 g 苏打盐碱土中分别加入一定量的玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,并与土壤充分混匀后,向其中加入蒸馏水至土壤含水率为 15%。将培养盒置于 25°C 恒温培养箱中,共计培养 300 d。期间保持恒定含水量。培养结束后,将土壤样品风干,进行盐碱化指标的分析测试。

表 2 培养试验设计 (%)

| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量 | 玉米秸秆添加量 | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 0.0 | A_0S_0 | A_0S_5 | A_0S_{10} | A_0S_{15} |
| 0.4 | $\text{A}_{0.4}\text{S}_0$ | $\text{A}_{0.4}\text{S}_5$ | $\text{A}_{0.4}\text{S}_{10}$ | $\text{A}_{0.4}\text{S}_{15}$ |
| 0.8 | $\text{A}_{0.8}\text{S}_0$ | $\text{A}_{0.8}\text{S}_5$ | $\text{A}_{0.8}\text{S}_{10}$ | $\text{A}_{0.8}\text{S}_{15}$ |
| 1.2 | $\text{A}_{1.2}\text{S}_0$ | $\text{A}_{1.2}\text{S}_5$ | $\text{A}_{1.2}\text{S}_{10}$ | $\text{A}_{1.2}\text{S}_{15}$ |
| 1.6 | $\text{A}_{1.6}\text{S}_0$ | $\text{A}_{1.6}\text{S}_5$ | $\text{A}_{1.6}\text{S}_{10}$ | $\text{A}_{1.6}\text{S}_{15}$ |
| 2.0 | $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ | $\text{A}_{2.0}\text{S}_5$ | $\text{A}_{2.0}\text{S}_{10}$ | $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ |

1.3 土壤基本理化性质的测定方法

供试苏打盐碱土 pH 值采用电位法(水土比为 5:1)测定^[21]; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法^[21]测定; Na^+ 、 K^+ 采用火焰光度法测定^[21], CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 采用双指示剂中和滴定法测定^[22]; 阳离子交换量(CEC)采用乙酸钠-火焰光度法测定^[21]; 交换性钠采用 $\text{NH}_4\text{OAc}-\text{NH}_4\text{OH}$ 火焰光度法测定^[21]。

土壤碱化度(ESP)是指土壤胶体吸附的交换性 Na^+ 占阳离子交换量的百分率。

碱化度 (%) = 交换性钠含量 (Na^+ cmol/kg) / 阳离子交换量 (cmol/kg) × 100

1.4 数据处理

本试验采用 Origin 2018 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 施入苏打盐碱土后 pH 值的变化

图 1 为添加玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 pH 值的影响。整体而言,随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加,苏打盐碱土 pH 值明显降低;而秸秆的引入,也略微促进了 pH 值的降低。当 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量 ≤ 0.8% 时,苏打盐碱土的 pH 值随 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量增加表现为急剧下降的趋势,下

降幅度为 1.330 ~ 1.935 个单位。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量为 0.8% ~ 2.0% 时, 苏打盐碱土 pH 值基本呈缓慢下降的趋势, 降幅为 0.090 ~ 0.285 个单位。在未添加玉米秸秆时, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量越大, 苏打盐碱土 pH 值降低越多。与 A_0S_0 相比, 在 $\text{A}_{0.4} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 这些处理中, 苏打盐碱土的 pH 值下降幅度为 1.36 ~ 2.08 个单位。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量相同时, 苏打盐碱土 pH 值随玉米秸秆添加量增加而缓慢降低。如当 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量为 0.8% 时, $\text{A}_{0.8}\text{S}_0$ 、 $\text{A}_{0.8}\text{S}_5$ 、 $\text{A}_{0.8}\text{S}_{10}$ 和 $\text{A}_{0.8}\text{S}_{15}$ 各处理的苏打盐碱土 pH 值分别降低了 0.29、0.18 和 0.24 个单位。

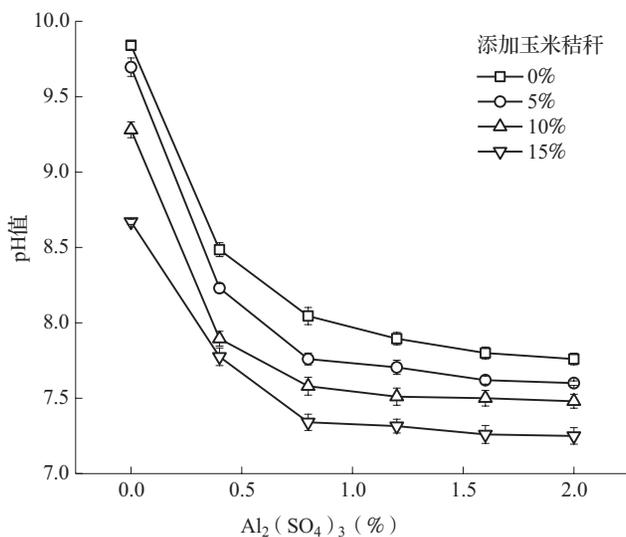


图1 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 pH 值的影响

2.2 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 施入苏打盐碱土后可溶性盐的变化

图2为玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土可溶性盐含量的影响。如图2所示, 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的施入增加了苏打盐碱土的阳离子含量。随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和玉米秸秆用量的增加, K^+ 含量均呈上升趋势。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的协同作用下, 随玉米秸秆添加量的增加, K^+ 含量有所提高, 在 $\text{A}_{2.0}\text{S}_5$ 、 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{10}$ 和 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 处理中, K^+ 含量与 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 相比分别增加了 18.3%、43.3% 和 188%。另一方面, 在玉米秸秆添加量相同时, K^+ 含量随 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加而升高, 在 $\text{A}_{0.4} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 这些处理中, 与 A_0S_{15} 相比, 苏打盐碱土中 K^+ 含量增加了 25.4% ~ 158.0%。当玉米秸秆添加量相同时, 随 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加, Na^+ 含量呈现比较明显的上升趋势。与对照相比, Na^+ 含量在 $\text{A}_{0.4} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 这些处理中比在 A_0S_{15} 处理中提升

了 20.4% ~ 68.6%。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量相同时, 玉米秸秆添加量越多, Na^+ 含量升高得越快。在 $\text{A}_{2.0}\text{S}_5$ 、 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{10}$ 和 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 处理中, 苏打盐碱土中 Na^+ 含量比 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 处理分别高出了 3.21%、4.44% 和 7.10%。

Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加而升高。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量相同时, 随着玉米秸秆添加量增加, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量均呈上升趋势。 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 处理的苏打盐碱土 Ca^{2+} 含量最高。与 A_0S_0 处理相比, 苏打盐碱土中 Ca^{2+} 含量在 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 、 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 和 A_0S_{15} 处理中分别增加了 16、6 和 1 倍。由此可知, $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 与 A_0S_0 之间的增量远大于 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 、 A_0S_{15} 两者与 A_0S_0 的增量的和。而在 $\text{A}_{0.4}\text{S}_{15} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 这段区域, Mg^{2+} 含量呈现明显的上升趋势, 并在 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 处理出现最大值。相同情况下, 苏打盐碱土中 Mg^{2+} 含量在 $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 、 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 和 A_0S_{15} 处理中分别比 A_0S_0 高出了 566%、415% 和 41.5%, $\text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 与 A_0S_0 之间的增量大于 $\text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 、 A_0S_{15} 两者与 A_0S_0 的增量的和。以上说明在苏打盐碱土中添加玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 对于增强 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量有明显的促进作用。

添加玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 降低了苏打盐碱土中 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的含量。 CO_3^{2-} 被 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 水解产生的 H^+ 所中和, 从而导致 CO_3^{2-} 含量降低, 因此在土壤 pH 值相对较低的 $\text{A}_{1.2} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_0$ 、 $\text{A}_{0.8} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_5$ 、 $\text{A}_{0.4} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_{10}$ 以及 $\text{A}_0 \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_{15}$ 处理中, CO_3^{2-} 均未检出。在未添加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的条件下, CO_3^{2-} 含量随玉米秸秆添加量的增加呈下降趋势。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量小于 0.4% 时, HCO_3^- 含量随着玉米秸秆添加量和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的增加而出现大幅度降低。此阶段 HCO_3^- 含量取决于玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的共同作用。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量大于 0.4% 时, HCO_3^- 含量则主要取决于 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的加入量。随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量的增加, HCO_3^- 含量逐渐减小, 且各含量之间的差距也随之减小。

2.3 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 施入苏打盐碱土后 CEC 的变化

玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 CEC 的影响如图3所示。由图3可知, 苏打盐碱土 CEC 随玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 添加量的增加呈上升趋势。如玉米秸秆添加量为 5% 时, CEC 随 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量增加而升高, 与 A_0S_5 相比, 苏打盐碱土 CEC 在 $\text{A}_{0.4} \sim \text{A}_{2.0}\text{S}_5$ 这些处理中高出了 47.1% ~ 117.7%, 表明 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土的 CEC 有一定的促进作

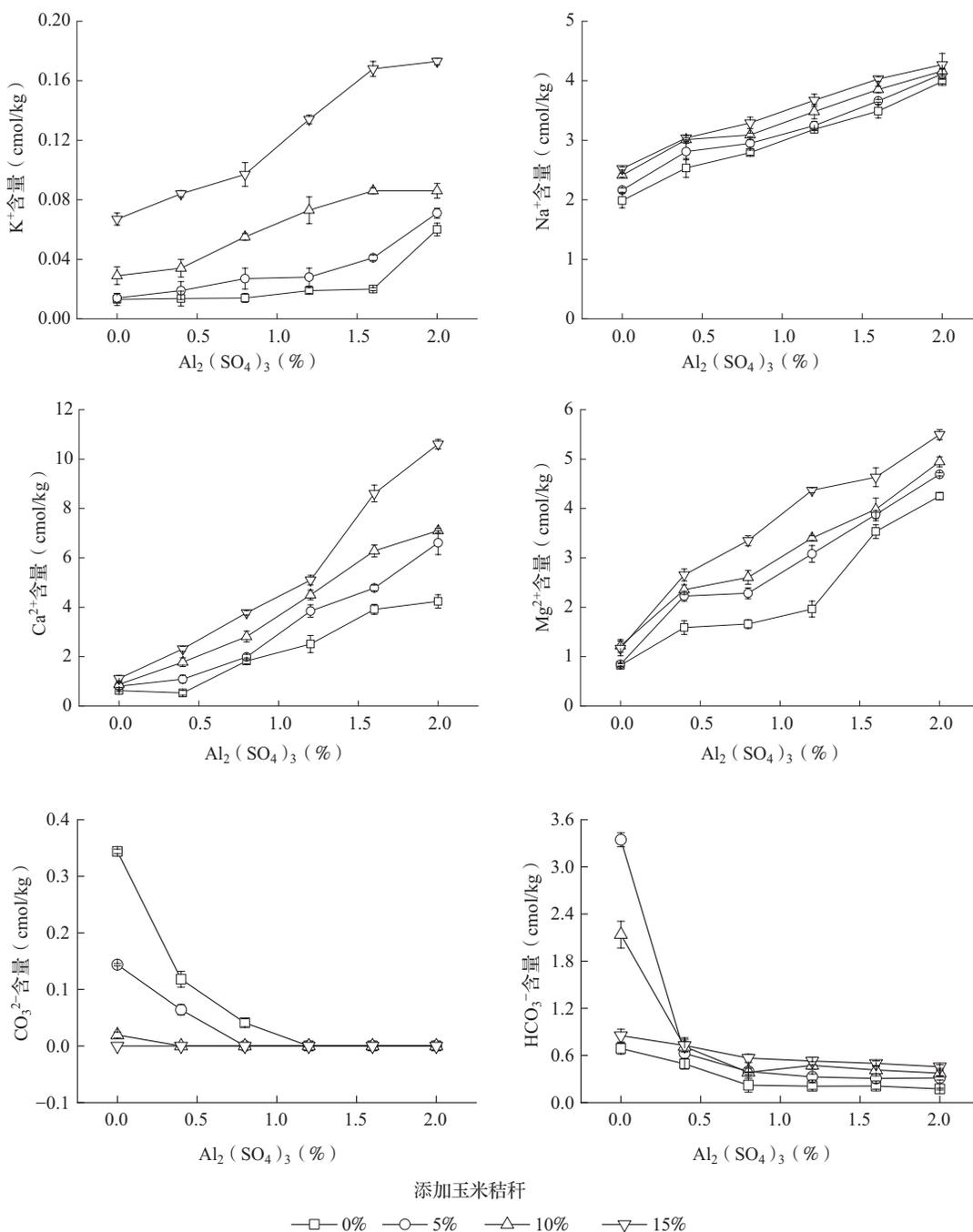


图2 玉米秸秆和 $Al_2(SO_4)_3$ 对苏打盐碱土可溶性盐含量的影响

用。在 $Al_2(SO_4)_3$ 加入量相同时，玉米秸秆添加量越大，CEC 越高。 $A_{0.8}S_5$ 、 $A_{0.8}S_{10}$ 和 $A_{0.8}S_{15}$ 处理中 CEC 与 $A_{0.8}S_0$ 相比分别提高了 11.5%、17.5% 和 27.1%。

2.4 玉米秸秆和 $Al_2(SO_4)_3$ 施入苏打盐碱土后 ESP 的变化

玉米秸秆和 $Al_2(SO_4)_3$ 对苏打盐碱土 ESP 的影响如图 4 所示。从图 4 可以看出，随 $Al_2(SO_4)_3$ 和玉米秸秆添加量的增加，苏打盐碱土 ESP 呈现下降的趋势。与 A_0S_0 相比，在 $A_{0.8}S_0$ 、 $A_{0.8}S_5$ 、

$A_{0.8}S_{10}$ 、 $A_{0.8}S_{15}$ 处理中，苏打盐碱土 ESP 分别下降了 42.2%、37.1%、26.7%、27.8%。与 A_0S_{15} 相比，在 $A_{0.8}S_{15}$ 、 $A_{1.2}S_{15}$ 、 $A_{1.6}S_{15}$ 、 $A_{2.0}S_{15}$ 处理中，苏打盐碱土 ESP 分别下降了 32.8%、30.2%、37.0%、30.9%。在 $Al_2(SO_4)_3$ 加入量为 2.0% 时，苏打盐碱土 ESP 分别为 22.50%、22.50%、20.2%、19.7%，且 $A_{2.0}S_{15}$ 处理的苏打盐碱土 ESP 最低。由此可知，在 $Al_2(SO_4)_3$ 加入量达到最大时，玉米秸秆的引入对苏打盐碱土 ESP 影响不大。而在 $Al_2(SO_4)_3$

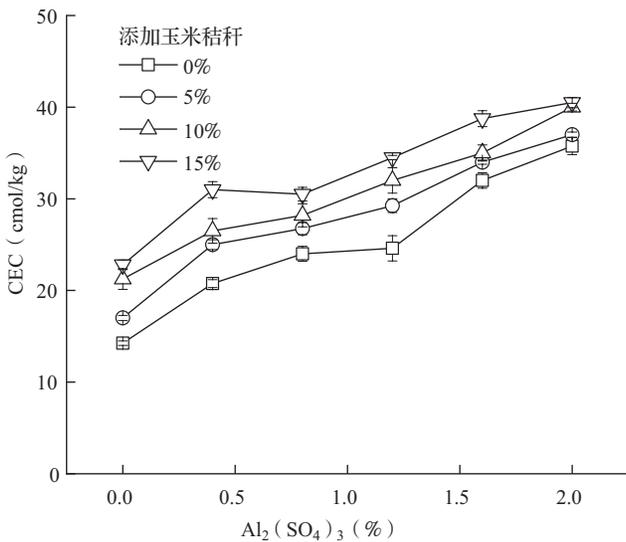


图3 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土阳离子交换量的影响

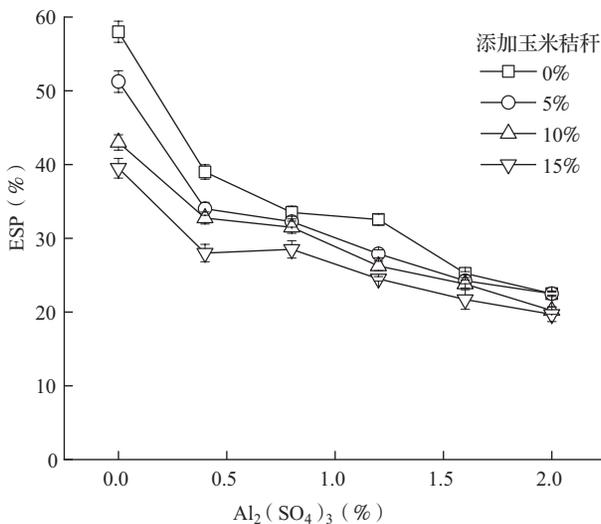


图4 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土碱化度的影响

加入量为 2.0% 时, 苏打盐碱土 CEC 继续增加, 说明交换性 Na^+ 已达饱和, 这致使 ESP 趋近相同^[23]。在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量为 0% ~ 0.4%、玉米秸秆添加量为 0% ~ 15% 时, 苏打盐碱土 ESP 有明显的下降趋势, 降幅为 23.8% ~ 33.7%。而在秸秆添加量为 0% ~ 15%、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入量分别为 0% 和 0.4% 时, 苏打盐碱土 ESP 的降幅则分别为 8.1% ~ 16.1% 和 3.68% ~ 14.5%。说明在这段区域内, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对土壤 ESP 的降低起到了决定性作用。未加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 时, 随着玉米秸秆添加量的增加, 苏打盐碱土 ESP 降低, 主要体现

在 A_0S_5 、 A_0S_{10} 和 A_0S_{15} 处理比 A_0S_0 处理分别减少了 11.6%、25.9% 和 31.9%。

3 讨论

3.1 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 pH 值的影响

在添加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的基础上, 采用秸秆还田是改善盐碱土土壤盐分和碱化度的一项有效措施。本试验研究结果表明, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入土壤后, 土壤溶液中的 Al^{3+} 会直接进行水解作用, 随之出现相应的单体铝、多聚体铝, 以及丰富的 H^+ , H^+ 会和土壤中的 OH^- 进行中和反应, 所以降低了土壤的 pH 值^[23], 但加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 过多时, 土壤溶液会通过阳离子交换反应发挥出一定的缓冲性能, 使其 pH 值不发生明显变化, 这与李秀军^[24]、Recheigl 等^[25] 研究结果一致。产生这种现象的另一个原因可能是秸秆在土壤腐解时会产生有机酸和二氧化碳被土壤微生物所利用, 产生微生物量多, 新陈代谢能力增强, 产生的有机酸就越来越多, 当达到最高值时趋于平衡状态, 在此过程中产生的二氧化碳会释放到空气中^[26-27]。

3.2 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土可溶性盐的影响

玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的加入增加了苏打盐碱土中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量。其原因是 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 中 Al^{3+} 的水解作用产生大量的 H^+ , 促进了土壤中碳酸盐的溶解, Ca^{2+} 置换出土壤胶体所吸附的 K^+ 以及 Na^+ , 随着 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 不断加入, 产生的 K^+ 和 Na^+ 也逐渐增多^[6]。另外, 玉米秸秆中原本就含有丰富的钾, 研究表明, 每 100 g 玉米秸秆中含钾约为 150 mg^[27], 秸秆加入土壤之后, 自身的钾也会释放出来, 这是导致土壤中 K^+ 含量增加的另一个原因。由于苏打盐碱土中盐分主要以碳酸盐为主, 秸秆加入土壤后发生腐解作用产生腐殖物质, 腐殖物质的形成也促进了碳酸钙的溶解, 激活了土壤中被固化的 Ca^{2+} , 进而提高了 Na^+ 的代换量^[6]。 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 进入土壤后会水解产生大量的 H^+ , H^+ 与土壤中 CO_3^{2-} 结合形成 HCO_3^- , 从而使钙镁由碳酸盐沉淀形式转为碳酸氢盐溶解态形式, 进而增加了钙镁离子含量^[6]。秸秆分解矿化产生有机酸和 CO_2 , 其中, CO_3^{2-} 会释放转化成 HCO_3^- , 从而使 CO_3^{2-} 含量逐渐减小^[23], 而 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的存在则加速了秸秆的腐解, CO_3^{2-} 转

化成 HCO_3^- , HCO_3^- 与 Al^{3+} 水解产生的 H^+ 反应生成 CO_2 和 H_2O , 从而使得 HCO_3^- 含量降低^[26], 导致 HCO_3^- 含量逐渐降低的另一个原因是 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 逐渐加入后, Al^{3+} 水解产生 H^+ , 与 HCO_3^- 反应进而不断地消耗 HCO_3^- ^[27]. CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量的减少标志着苏打盐碱土总碱度 (CO_3^{2-} 和 HCO_3^-) 的降低, 该结果也从实际上证明了秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 可以有效改良土壤总碱度^[28].

3.3 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对苏打盐碱土 CEC 和 ESP 的影响

玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加入苏打盐碱土后, 土壤 CEC 随玉米秸秆添加量的增加而升高, 这是因为阳离子交换能力和土壤有机质含量有一定的相关性^[29-31], $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 加速了秸秆在土壤中的腐解, 在此过程产生的腐殖物质中存在着大量的羧基、酚基、烯醇基以及酚羟基, 此类官能团能够使土壤中阳离子的交换位点变多^[14], 进而导致苏打盐碱土 CEC 增加. 玉米秸秆进入土壤后会形成一定量的 CO_2 及有机酸, 有机酸活化土壤碳酸钙, 其中的 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 则能够和土壤胶体中的 Na^+ 进行置换, 最终降低了苏打盐碱土 ESP^[32].

4 结论

在加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 的基础上, 将玉米秸秆还田可以进一步有效降低苏打盐碱土的 pH 值. 由于土壤 pH 值的降低, 促进了土壤中碱土金属碳酸盐的溶解, 降低了 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的含量, 使 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等二价阳离子含量增加, 改善了土壤中交换性盐基离子的结构, 阳离子与土壤胶体上的 Na^+ 进行置换, 以此来实现苏打盐碱土 ESP 的降低. 由此可见, 玉米秸秆和 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 对土壤化学性质的改良作用显著. 综合而言, $\text{A}_{0.8}\text{S}_{15}$ 为改良苏打盐碱土的最佳处理组合.

参考文献:

- [1] 赵兰坡, 王宇, 马晶, 等. 吉林省西部苏打盐碱土改良研究 [J]. 土壤通报, 2001, 32 (z1): 91-96.
- [2] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理 [J]. 土壤, 2006 (3): 256-262.
- [3] 李取生, 李秀军, 李晓军, 等. 松嫩平原苏打盐碱地治理与利用 [J]. 资源科学, 2003 (1): 15-20.
- [4] Al-Karaki Ghazi N, Al-Omouh M. Wheat response to phosphogypsum and mycorrhizal fungi in alkaline soil [J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25 (4): 873-883.
- [5] 刘金华, 赵兰坡, 王鸿斌, 等. 硫酸铝对苏打盐碱土中氟迁移规律的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (2): 271-274.
- [6] 汤俊芳, 李志洪, 徐明海. 不同改良物质对苏打盐碱土的改良效果 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42 (2): 161-166.
- [7] 王庆蒙, 景宇鹏, 李跃进, 等. 不同施肥措施对河套灌区盐碱地改良效果 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (5): 124-131.
- [8] 马桂秀, 林治安, 李志杰, 等. 有机物料与化肥配施改良盐碱耕地的效果研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 69-75.
- [9] 张鑫, 赵兰坡, 赵兴敏, 等. 秸秆和硫酸铝改良剂对苏打盐碱土吸附腐殖酸性能的影响 [J]. 水土保持学报, 2019, 33 (4): 308-314.
- [10] Wang S J, Chen Q, Li Y, et al. Research on saline-alkali soil amelioration with FGD gypsum [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 121 (6): 82-92.
- [11] 刘楠. 添加秸秆和硫酸铝对淡黑钙土的培肥改良作用研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [12] 马玉涛, 苑佰飞, 张鹏, 等. 硫酸铝对新开垦苏打盐碱水田的快速改良和培肥效果 [J]. 水土保持学报, 2020, 34 (2): 325-330, 339.
- [13] 王宇, 韩兴, 赵兰坡. 硫酸铝对苏打盐碱土的改良作用研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20 (4): 50-53.
- [14] 国立财. 碱化草甸土秸秆还田培肥技术研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [15] Roldan A, Caravaca F, Hernandez M T, et al. Notillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico) [J]. Soil and Tillage Research, 2003, 72 (1): 65-73.
- [16] Bescansa P, Imazi M J, Virto I, et al. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87 (1): 19-27.
- [17] Sasal M C, Andriulo A E, Aboada M A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87 (1): 9-18.
- [18] 张聪, 慕平, 尚建明. 长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响 [J]. 水土保持研究, 2018, 25 (1): 92-98.
- [19] Eldor A. P. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2016, 98: 109-126.
- [20] 张鑫. 硫酸铝改良剂对苏打盐碱土固碳性能的研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 王宇, 韩兴, 赵兰坡, 等. 硫酸铝对苏打盐碱土化学性质及水稻产量的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2006 (6): 652-655, 659.

- [24] 李秀军. 松嫩平原西部土地盐碱化与农业可持续发展 [J]. 地理科学, 2000, 20 (1): 51-55.
- [25] Recheigl J E, Sparks D L. Effect of acid rain on the soil environment: A review [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 16 (7): 653-680.
- [26] 赵丽兵. 黄土丘陵区土壤碳酸钙沉淀过程及土壤二氧化碳的研究 [D]. 太原: 山西大学, 2003.
- [27] 潘艳男. 稻草和硫酸铝不同添加比例对苏打盐碱土有机碳固定效果的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [28] 王涵, 张忠庆, 刘金华, 等. 不同改良剂对苏打盐碱土的改良效果 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42 (5): 569-575.
- [29] 廖凯华, 徐绍辉, 程桂福, 等. 土壤 CEC 的影响因子及
- Corkriging 空间插值分析 - 以青岛市大沽河流域为例 [J]. 土壤学报, 2010, 47 (1): 26-32.
- [30] 王训, 闫飞, 王永敏, 等. 秸秆改良剂对沙质土有机质和阳离子交换量的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (23): 224-228.
- [31] 陈红霞, 杜章柳, 郭伟, 等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (11): 2930-2934.
- [32] 范富, 张庆国, 侯米红, 等. 玉米秸秆隔离层对西辽河流域盐碱土碱化特征及养分状况的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27 (3): 131-137.

Effect of corn stover and aluminum sulfate on main salinization indexes of soda saline-alkaline soil

WANG Nan, ZHANG Xin, LIU Jin-hua, ZANG Jin-yu, ZHAO Xing-min*, WANG Hong-bin, ZHAO Lan-po (College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Key Laboratory of Saline-Alkali Soil Reclamation and Utilization in Northeast China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Changchun Jilin 130118)

Abstract: Indoor culture experiments were used to study the effects of corn stover and aluminum sulfate on the pH value, soluble salt content and cation exchange capacity of soda saline-alkaline soil to provide the theoretical basis for the rational improvement and utilization of saline-alkaline soil. The result indicated that the pH value of soda saline-alkaline soil decreased at varying degrees after adding corn stover and aluminum sulfate. When the addition amount of aluminum sulfate was 0% ~ 0.8%, the pH value of soda saline-alkaline soil was decreased sharply with the increase of the amount of aluminum sulfate. When the amount of aluminum sulfate was greater than 0.8%, the changes of pH value were slower. When the amount of aluminum sulfate was the same, the addition of corn stover could also slightly reduce the pH value of soda-alkaline soil. Combined the function of corn stover and aluminum sulfate, the contents of sodium ion, potassium ion, calcium ion and magnesium ion in soda saline-alkaline soils were all increased. The contents of carbonate ion and bicarbonate ion were decreased gradually with the addition of corn stover and aluminum sulfate. The addition of corn stover and aluminum sulfate also increased the cation exchange capacity of the soda saline-alkaline soil. The cations were replaced by the sodium ion on the soil colloid, and finally the exchangeable sodium percentage of the soda-saline-alkaline soil was decreased. In summary, under test conditions, 15% corn stover and 0.8% aluminum sulfate have the best improvement effect on soda saline-alkaline soil.

Key words: saline-alkali soil; corn stover; aluminum sulfate; soluble salt content; exchangeable sodium percentage