

新型复合改良剂对苏打盐碱土的改良效果研究

马 列, 刘金华*, 杨靖民*, 张忠庆, 苏红鸽

(吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

摘 要: 试验以菌糠、硫磺和腐植酸为改良基质, 将黑木耳菌糠 + 硫磺 + 腐植酸不同用量组合与盐碱土混合, 以盐碱土为对照, 研究对盐碱土理化性状变化情况以及碱茅生长发育的影响。从苏打盐碱土的物理指标、化学指标、养分指标和碱茅生长发育指标等方面进行分析, 结果表明, 菌糠复合改良剂施入土壤后, 土壤容重、pH 值均有所降低, 与对照处理相比分别降低了 22.38% 和 20.13%。菌糠复合改良剂对土壤交换性钠和碱化度作用效果较显著, 相比对照处理分别下降了 63.78% 和 63.99%。菌糠复合改良剂可以提高土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量, 对碱茅植株的各项生长指标有显著促进作用。在苏打盐碱土中施入菌糠复合改良剂可以改善土壤理化性质, 促进碱茅生长, 增加生物量。综合土壤理化指标和作物生长指标的数据, 改良效果较好的是处理 C₆, 其改良物质用量分别为菌糠 20 g/kg、硫磺 6 g/kg、腐植酸 2 g/kg。

关键词: 黑木耳菌糠; 硫磺; 腐植酸; 复合改良剂; 苏打盐碱土

吉林省西部盐碱土属内陆苏打型土壤, 是盐碱土类型中改良利用难度最大的土壤类型, 面积约 1.7 万 km²^[1]。土壤中盐离子主要以 Na⁺、Ca²⁺、CO₃²⁻、HCO₃⁻ 为主, 透水性差^[2]。干时坚硬, 湿时泥泞, 植被出苗和生长困难, 所以开发利用较低, 仅有少量低产农田^[3], 如何对其进行改良以适应植物的生长是当地亟待解决的问题。经过近几十年的努力, 该区域盐碱土的改良已经取得了一定的成效, 吉林农业大学赵兰坡等将 Al³⁺ 引入苏打盐碱土中, 通过盆栽试验证明 Al³⁺ 对苏打盐碱土有明显的改良作用^[4]。吉林省农业科学院通过多年的田间定位试验, 在盐碱地上施用石膏后增加了玉米的保苗数, 促进了玉米的生长发育^[5]。但是综合多年的改良效果表明, 单一的措施很难达到良好的改良效果, 以化学改良为主体并结合相应的农艺措施能够达到更好的改良效果, 使改良土壤和培肥紧密结合并同时进行^[6]。

菌糠是食用菌培养基的剩余物, 俗称菌渣余料。随着吉林省食用菌产业的发展, 菌糠产

量逐年增加^[7], 由于其没有得到合理的开发利用, 被随意丢弃在田间地头, 对当地的生态环境造成了严重的污染^[8]。如何将菌糠合理地利用于改良和培肥土壤上, 是实现资源再利用的较好途径, 因为菌糠中有机质和蛋白质含量较高, 并且其结构粗糙松散, 透气性好, 在土壤中可以分解成有较强通气能力和蓄水能力的腐殖物质, 可增强土壤的保水性和透气性, 防止土壤板结^[9]。石堃等^[10]研究表明, 菌糠施入苏打盐碱土后, 可以提高土壤的自然含水量和田间持水量, 能够较好地保持土壤水分, 并可以改善苏打盐碱土的理化性质, 创造适于作物生长的土壤环境, 使土壤肥力得到提高^[11]。朱小平^[12]研究表明, 在施入菌糠的苏打盐碱土上种植牧草, 能够提高牧草的地上部生物量。因此, 正确施用菌糠既可以改善盐碱土的物理性状, 又可以提高土壤养分, 既解决了菌糠废弃污染环境的问题, 又达到了改良土壤的双重目标, 对于农业资源的循环利用具有重要的意义。吉林省西部苏打盐碱土的 pH 较高, 单独施用菌糠很难将 pH 降低到作物能够正常生长的范围, 而相关研究表明, 硫磺施入土壤后, 随着硫磺用量的增加, 土壤 pH 呈现降低的趋势^[13]。苏打盐碱土的障碍因子除了盐度和碱度高以外, 其有机质含量低也是影响作物生长的又一因素, 腐植酸能显著提高土壤的有机质含量, 并可改善土壤的持水性、透气性等理化特性, 可以把松散的土壤颗粒

收稿日期: 2020-05-20; 录用日期: 2020-08-02

基金项目: 重度苏打盐碱地碱茅生态草建植技术规模与产业示范 (2016YFC0501206-3)。

作者简介: 马列 (1991-), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事植物营养研究。E-mail: 775780136@qq.com。

通讯作者: 杨靖民, E-mail: 42204033@qq.com; 刘金华, E-mail: liujinhua80@126.com。

聚集在一起,形成水稳性团粒结构,进一步促进土壤团粒结构的形成^[14]。王倩姿等^[15]研究表明,在盐碱地上施用腐植酸物质,可以降低土壤电导率、水溶性 Na^+ 和 K^+ 含量以及钠吸附比,提高土壤有效磷含量。

综上所述,虽然利用单一改良剂进行盐碱土改良的研究较多,并取得了一定的改良效果和理论基础,但是单一改良剂所达到的改良效果是有限的,比较适合在盐碱度不高、障碍因子较少的土壤上使用。对于盐碱度较高、理化性质恶劣的吉林省西部苏打盐碱地而言,为了能够更好地达到改良和培肥土壤的目的,复合改良剂的筛选和应用是未来土壤改良发展的趋势之一。而基于菌糠的复合改良剂研究在该区域还未见报道。因此,本文采用室内盆栽的方法,通过设置菌糠、硫磺、腐植酸 3 因素 3 水平的正交试验,研究不同复合改良剂组合用量对土壤部分理化性质和碱茅生长的影响,并筛选出最优的混合改良剂组合方案。试验结果可为吉林省西部苏打盐碱地改良提供一定的理论基础,同时也为菌糠的合理再利用提供技术支持和宝贵经验,兼具经济效益、社会效益和生态效益。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤取自吉林省大安市大岗子镇欧力村,土壤类型为苏打型盐碱土,取样时间为 2018 年 5 月中旬,挑选地表无任何植物生长的重度苏打盐碱土进行取样,取土深度为 0 ~ 20 cm。土壤基本理化性质为 pH 9.25,电导率 (EC) 1.67 mS/cm,交换性阳离子 21.9 cmol/kg,碱化度 63.1%,有机质 17.62 g/kg,碱解氮 26.59 mg/kg,有效磷 13.01 mg/kg,速效钾 146.72 mg/kg。

1.2 供试材料

黑木耳菌糠取自吉林省敦化市大蒲柴河镇,原培养基成分为木屑 85%、麦麸子 10%、豆饼粉 3%、石膏 1%、生石灰 1%,试验时菌糠性状为含水率 31.15%,pH 7.13,全氮 0.43%,全磷 0.35%,全钾 0.03%,有机质 57.31%。硫磺来源于江西恒兴源化工有限公司,含量为 98%。腐植酸来源于哈尔滨亿实达生态科技开发有限责任公司,有效腐植酸成分 71.85%,交换性钾含量 48.62 g/kg,交换性钠含量 0.53 g/kg,pH 4.42。试验所用作物为朝鲜碱茅,种子采自大安试验站。

1.3 试验设计

盆栽试验于 2018 年 6 月 12 日至 8 月 11 日进行,采用 3 因素 3 水平的正交试验设计方法,其中黑木耳菌糠用量分别为 10、20、30 g/kg;硫磺用量分别为 2、6、12 g/kg;腐植酸用量分别为 4、8、16 g/kg。另外设置无改良剂的对照处理 1 个,总计 10 个处理,每个处理 3 次重复,各处理具体的改良剂用量见表 1。盆栽用塑料盆直径 17 cm、高 12 cm,每盆装过 2 mm 筛的风干苏打盐碱土 1 kg,将改良剂与土混合均匀后装盆,按田间最大持水量的 60% 加入去离子水,于第 2 d 每盆播种 100 粒经过挑选并包衣的碱茅种子,放入人工气候箱内进行培养,温度设置为白天 25℃,晚上 15℃,空气湿度为 55%。保证每次浇水时各处理的去离子水用量相同。培养 60 d 后收获,测定碱茅的株高、鲜重、干重;采集土壤,经风干、过筛处理后进行相关指标的测定。

表 1 各处理改良剂用量 (g/kg)

处理	菌糠	硫磺	腐植酸
C ₁	10	1	2
C ₂	10	3	4
C ₃	10	6	8
C ₄	20	1	4
C ₅	20	3	8
C ₆	20	6	2
C ₇	30	1	8
C ₈	30	3	2
C ₉	30	6	4
CK	0	0	0

1.4 测定指标及分析方法

容重采用环刀法;pH 采用酸度计测定(土水比 1:2.5);EC 采用电导仪测定(土水比 1:5);有机质采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - 外加热容量法;碱解氮采用扩散吸收法;有效磷采用 NaHCO_3 - 钼锑抗比色法;速效钾采用 NH_4OAc - 火焰光度法;阳离子交换量、交换性钠采用火焰光度法;出苗率采用直接观察法,为 10 d 内发芽的种子数 / 供试种子数 $\times 100\%$;株高为从植株根部到植株生长点的测量长度;鲜重使用电子天平测定;干重采用干燥法测定,称量时先将作物在烘箱中 105℃ 高温杀青 10 min,后在 75℃ 低温条件下,连续烘干 24 h 左右,直至恒重。

1.5 数据处理

土壤样品测定数据采用 Excel 2007 进行整理和作图, 使用 SPSS 22.0 对不同处理内及处理间的数据分别进行方差分析 (ANVOA), 采用不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 复合改良剂对苏打盐碱土容重的影响

土壤容重是指自然状态下, 单位容积土壤体的烘干质量, 在土壤质地相似条件下, 土壤容重小, 表明土壤疏松多孔, 结构性良好; 反之, 土壤容重大, 则表明土壤坚实板硬而缺少团粒结构。容重过大 ($> 1.4 \text{ g/cm}^3$) 会影响植物生长发育。土壤容重是土壤坚实度的重要指标, 其数值的大小直接影响土壤的通气性和透水性, 是土壤质量改善的重要指标^[16]。从图 1 可以看出, 各改良剂处理的土壤容重均显著低于 CK 处理, 其中 C_7 处理降低的最大, 降低了 22.38%。但 9 个改良剂处理间的容重无显著性差异。这主要因为菌糠质地较轻且疏松多孔, 施入土壤后一方面直接降低了土壤的容重; 另一方面在土壤中通过微生物降解释放多糖等有机物质, 进而促进微团聚体向大团聚体形成, 也达到了降低土壤容重的效果。另外, 腐植酸类物质作为一种亲水性的有机胶体, 能与土壤中的矿物质发生凝聚反应形成有机-无机复合体, 这种复合体活性高, 吸附能力强, 可以黏结土壤中的细粒物质, 并逐渐形成土壤团粒结构。

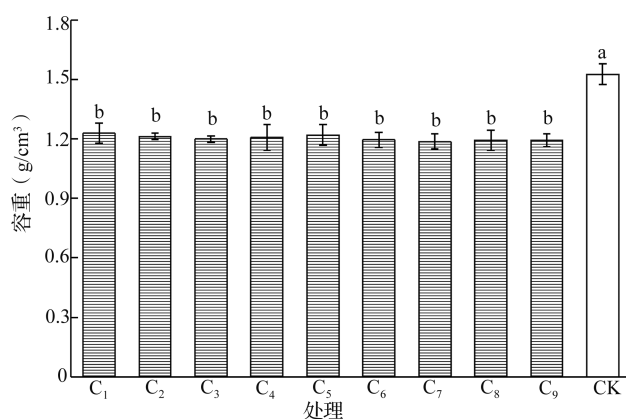


图 1 复合改良剂对土壤容重的影响

注: 不同小写字母表示处理间差异显著。下同。

2.2 复合改良剂对苏打盐碱土 pH 的影响

从图 2 可以看出, CK 处理的 pH 为 10.08。施用组合改良剂后, 除了处理 C_7 的 pH 为 9.05, 其余

各处理的 pH 均达到 9 以下。 C_9 处理的 pH 下降幅度最大, 为 8.05, 与 CK 处理相比降低了 20.58%, 但与 C_3 、 C_6 、 C_8 处理间差异不显著, 表明这几种处理均能较显著地降低苏打盐碱土 pH。这是因为改良剂中硫磺在土壤微生物的作用下, 可以产生 SO_4^{2-} , 中和碱性物质, 改良剂中的腐植酸成分具有酸性, 使苏打盐碱土中的碱性得到中和, 降低土壤 pH。菌糠本身也具有酸性, 所以也能够使盐碱地的 pH 得到有效降低; 另一方面可能由于菌糠分解时产生的有机酸和土壤中积累的碳酸共同作用降低了土壤 pH。从图 2 可以看出, 随着硫磺用量的增加, 土壤 pH 呈下降趋势, 说明硫磺对降低土壤 pH 有显著作用。

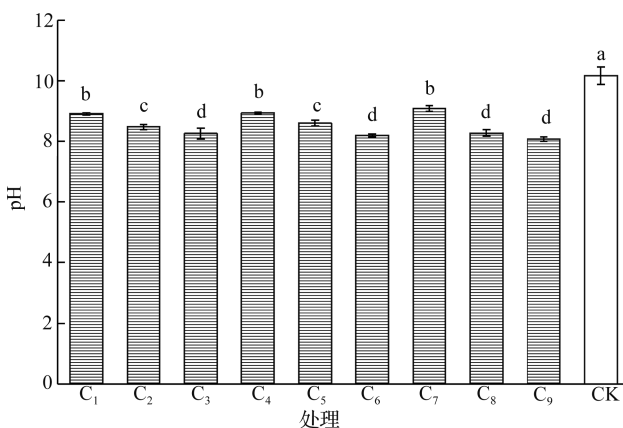


图 2 复合改良剂对土壤 pH 的影响

2.3 复合改良剂对苏打盐碱土 EC、交换性钠和碱化度 (ESP) 的影响

土壤 EC 是反映土壤中可溶性盐总量的重要指标, 土壤水溶性盐是盐碱土的一个特殊标志, 过高的 EC 能够限制作物的生长。在一定浓度范围内, 溶液的含盐量与 EC 呈正相关。对于吉林省西部苏打盐碱土来说, 碱土盐渍化主要由土壤中的 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 所致, 它们在土壤中的含量越高, 土壤 pH、交换性钠的含量就会越高。改良这样的盐碱土, 需设法消除 Na_2CO_3 的消极影响, 使其向改善土壤结构的方向转化^[17]。

表 2 是菌糠、硫磺和腐植酸的不同用量对苏打盐碱土 EC、交换性钠和 ESP 的影响。施用改良剂处理与 CK 相比, 土壤 EC 呈上升趋势, 其中 C_7 处理的 EC 与 CK 处理相比降低 2%。从表 2 可以看出, 各处理土壤交换性钠含量和 ESP 与 CK 处理相比均有所下降, 下降范围分别为 29.01% ~ 63.78%、13.15% ~ 63.99%。其中 C_6 、 C_9 处理对土壤交换性

钠和 ESP 影响较大, 与 CK 处理相比土壤交换性钠分别下降了 56.45% 和 63.78%, ESP 与 CK 处理相比分别下降了 62.54% 和 63.99%。

表 2 复合改良剂对苏打盐碱土 EC、交换性钠和 ESP 的影响

处理	EC (mS/cm)	交换性钠 (cmol/kg)	ESP (%)
C ₁	1.69 ± 0.01b	6.20 ± 0.81ab	44.01 ± 4.13a
C ₂	1.71 ± 0.11b	6.99 ± 0.88a	37.85 ± 5.21ab
C ₃	1.97 ± 0.06a	5.58 ± 0.85abc	26.75 ± 3.34c
C ₄	1.50 ± 0.07c	6.47 ± 0.83ab	38.75 ± 4.00ab
C ₅	1.55 ± 0.09c	5.26 ± 0.81bc	28.06 ± 3.39c
C ₆	1.69 ± 0.07b	4.29 ± 0.84cd	18.98 ± 3.29d
C ₇	1.02 ± 0.06d	6.91 ± 0.81a	35.97 ± 3.07b
C ₈	1.25 ± 0.06d	4.62 ± 0.86cd	24.41 ± 3.54cd
C ₉	1.47 ± 0.08c	3.56 ± 0.84d	18.25 ± 3.62d
CK	1.64 ± 0.10d	9.84 ± 0.81a	50.67 ± 2.73a

注: 不同小写字母表示处理间差异显著。下同。

2.4 复合改良剂对苏打盐碱土肥力的影响

土壤有机质既是植物矿质营养和有机营养的源泉, 又是土壤中异养型微生物的能量物质, 影响着土壤的理化性质。从表 3 可以看出, 菌糠、硫磺和腐植酸的施入可以提高盐碱土中各处理的有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量。与 CK 处理相比, 分别增加 10.6% ~ 63.0%、19.6% ~ 83.7%、32.9% ~ 161.0% 和 24.5% ~ 124.5%。其中 C₇ 处理的有机质、碱解氮和有效磷含量增加最多, 说明 C₇ 处理对土壤养分作用最显著。这主要是因为复合改良剂本身含有大量的有机质、氮磷钾和腐植酸, 除了本身释放外, 还可以活化土壤中原有的养分, 提高土壤供肥和保肥能力。

表 3 复合改良剂对盐碱土土壤有机质及养分的影响

处理	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
C ₁	24.91 ± 1.36d	18.16 ± 1.66e	15.80 ± 0.46e	99.57 ± 2.57g
C ₂	21.02 ± 0.82ef	24.48 ± 2.71d	25.46 ± 1.28c	109.00 ± 1.64f
C ₃	21.98 ± 0.27e	24.65 ± 2.75d	26.17 ± 0.71c	140.63 ± 6.57c
C ₄	20.28 ± 1.84f	25.40 ± 3.01d	18.79 ± 0.39d	132.27 ± 2.95d
C ₅	26.91 ± 2.37c	43.00 ± 2.83b	29.00 ± 0.59b	175.90 ± 2.79a
C ₆	28.06 ± 1.92bc	26.35 ± 3.28d	27.88 ± 0.88b	126.00 ± 1.41e
C ₇	29.87 ± 3.81a	48.93 ± 2.73a	31.02 ± 0.61a	179.43 ± 2.50a
C ₈	29.21 ± 0.49ab	31.84 ± 4.45c	17.93 ± 0.65d	105.83 ± 0.35f
C ₉	27.97 ± 2.27bc	43.08 ± 2.12b	27.97 ± 0.55b	170.27 ± 2.00b
CK	18.33 ± 1.85f	26.63 ± 2.20d	11.89 ± 0.74f	79.93 ± 2.00h

2.5 复合改良剂对苏打盐碱土碱茅生长的影响

作物生物状况是检验复合改良剂对盐碱土改良效果的最佳指标, 盐碱土壤对植物的危害, 主要会引起植物生理干旱、伤害植物组织、影响植物正常营养吸收和造成植物气孔关闭, 影响作物生长甚至造成作物死亡。表 4 是菌糠、腐植酸和硫磺复合改良剂对碱茅生长的影响。从表 4 可以看出, 除了 C₃、C₅ 处理出苗率低于 CK 处理, 其他处理的出苗率均高于 CK 处理。CK 处理的碱茅植株虽发芽, 但最终未成活, 碱茅植株全部死亡。从表 4 可以看到, C₁、C₆、C₈、C₉ 处理的各项指标均优于其他处理, C₆ 处理的碱茅各项指标均最高, 株高为 16.9 cm, 鲜重为 114.00 g, 干重为 0.3 g, 且较其他处理均达到了差异显著水平。处理 C₃、C₅、C₇ 的碱茅植株较矮, 叶片发黄无光泽。可能是因为处理 C₃、C₅、C₇ 的腐植酸含量过高而抑制碱茅种子发芽出苗。

表 4 复合改良剂对碱茅生长的影响

处理	出苗率 (%)	株高 (cm)	植株鲜重 (g)	植株干重 (g)
C ₁	24.0 ± 2.6c	14.3 ± 2.8ab	59.00 ± 6.20b	0.15 ± 0.01b
C ₂	29.3 ± 1.5b	6.8 ± 0.7de	2.66 ± 2.50d	0.00 ± 0.00d
C ₃	6.3 ± 3.5e	3.9 ± 1.2e	3.33 ± 4.10d	0.01 ± 0.01d
C ₄	27.0 ± 3.6bc	7.1 ± 0.2de	35.60 ± 16.40c	0.09 ± 0.04c
C ₅	6.0 ± 2.0e	3.8 ± 0.9e	1.66 ± 2.80d	0.00 ± 0.00d
C ₆	58.3 ± 6.0a	16.9 ± 0.8a	114.00 ± 6.10a	0.30 ± 0.01a
C ₇	20.6 ± 4.0c	5.3 ± 1.5e	7.66 ± 7.30d	0.02 ± 0.02d
C ₈	28.0 ± 3.6b	12.5 ± 4.9bc	57.00 ± 13.70b	0.15 ± 0.03b
C ₉	41.0 ± 4.0b	9.5 ± 1.5cd	38.30 ± 3.10c	0.10 ± 0.01c
CK	14.3 ± 3.0d	0	0	0

3 结论与讨论

菌糠、硫磺、腐植酸复合改良剂施入苏打盐碱土后可以降低土壤容重, 但各处理之间差异不显著, 其中 C₇ 处理容重降低最大, 与 CK 相比, 降低了 22.38%。复合改良剂降低土壤容重的原因可能是: 菌糠疏松多孔, 促进土壤大团粒体聚集和植株根系生长; 腐植酸可改善土壤的持水性、透气性等理化特性, 可以把松散的土壤颗粒聚集在一起, 形成水稳性团粒结构, 进一步促进土壤团粒结构的形成。施用组合改良剂处理均能降低土壤 pH, C₉ 处理的 pH 下降幅度最大, 为 8.05, 相比 CK 处理降低了 20.13%。pH 降低的原因可能是: 菌糠含有游离酸和腐植酸, 在一定程度上可

以中和盐碱土的碱性,降低土壤 pH。另外,盐碱土壤中大量的交换性钠离子被菌糠中的钙离子代换下来后,形成易溶于水的 Na_2SO_4 进入到土壤水溶液中,随水排出土壤,从而降低土壤 pH; 硫磺水解或者在微生物作用下可以产生 H^+ , 硫磺在土壤中的氧化过程为: $\text{S} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$, 产生 H^+ , 从而降低土壤 pH, 降低碱胁迫; 改良剂中的腐植酸成分具有弱酸性, 使苏打盐碱土中的碱性得到中和。施用硫磺不同程度地降低了土壤的 pH, 增加了 EC, 这可能与硫磺施入土壤后, 土壤中的 SO_4^{2-} 含量升高有关, 这与唐雪东等^[18]、Wang 等^[19]的研究结果一致。

各处理土壤交换性钠和 ESP 也有不同程度的降低, 其中 C_6 、 C_9 处理对土壤交换性钠和 ESP 影响较大。各处理交换性钠和 ESP 降低的可能原因: 硫磺和腐植酸对交换性钠的作用比较明显, 硫磺经水解后会产生酸类, 与土壤中难溶解的碳酸钙反应, 生成溶解度更大的硫酸钙, 使土壤的钙活性增大, 与土壤中的钠离子发生代换, 可以降低苏打盐碱土交换性钠和 ESP^[20]; 腐植酸是一种带有负电的胶体, 能够吸附一价阳离子, 促进土壤团粒结构的形成, 增加土壤的通透性, 从而加快土壤表层盐碱的淋溶和灌洗^[21], 腐植酸的羟基、羧基功能团与土壤中钙离子发生凝聚反应, 通过作物根系的生理作用形成土壤团粒结构, 从而改善土壤结构, 更有利于盐分的淋洗^[22]。土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾等养分也有不同程度的增加, 这可能是由于复合改良剂中的菌糠能够促进土壤中钾、磷、氮的释放, 提升养分含量; 腐植酸能吸附交换活化土壤中很多矿质元素, 如磷、钾、钙、镁等, 使这些元素的有效性大大增加, 从而提高土壤肥力, 改善作物的营养条件^[23]。

复合改良剂施入土壤后, 碱茅植株的各项指标均大于 CK 处理, C_1 、 C_6 、 C_8 、 C_9 处理的改良效果较好, 其中 C_6 处理碱茅植株各项指标与其他处理均达到了显著性差异。 C_3 、 C_5 、 C_7 处理的碱茅发芽率较低, 并且植株矮小, 叶片发黄无光泽, 可能是由于腐植酸含量过高而抑制了碱茅种子发芽生长。CK 处理种子可以发芽, 但是未能成活, 可能是 CK 处理土壤本身有大量盐分的积累, 引起离子毒害 (特别是 Na^+) 和渗透胁迫, 导致植物生理干旱、伤害植物组织、影响植物的正常营养吸收, 最终造成 CK 处理碱茅植株全部死亡。盐碱土施入复合改良

剂降低了土壤的碱性, 抑制部分有害离子, 离子毒害和渗透胁迫危害降低, 体现在种子出苗时胁迫减轻, 提高了植株的出苗率^[24]。这与蔺吉祥等^[24]研究的小麦种子在盐碱胁迫下出苗的结果相似。硫磺可以为植株提供生长所需要的硫元素, 复合改良剂施入盐碱土后, 使碱茅植株地上部生物量增加, 提高作物产量及品质, 这和雷全奎等^[25]的研究结果一致。腐植酸可以活化土壤磷素, 改良盐碱土磷素供应, 促进作物对磷的吸收利用^[22]。此外, 腐植酸能够调控植物根系形态建成, 促进渗透调节物质积累和作物的养分吸收^[26]。综合土壤理化指标、土壤养分指标和植株生长指标变化来看, 改良效果较好的处理为 C_6 处理, 菌糠、硫磺、腐植酸的用量分别为 20、6、2 g/kg。

参考文献:

- [1] 赵兰坡, 尚庆昌, 李春林. 松辽平原苏打盐碱土改良利用研究现状及问题 [J]. 吉林农业大学学报, 2000 (S1): 79-83, 85.
- [2] 王春裕, 王汝镛. 中国东北西部地区土壤盐渍化演变 [J]. 生态学杂志, 1996, 5 (2): 44-48.
- [3] 高金方. 松辽 (嫩) 平原苏打盐土的发生与改良 [J]. 土壤通报, 1987 (3): 100-102.
- [4] 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 (S1): 91-96.
- [5] 高玉山, 朱知运, 毕业莉, 等. 石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究 [J]. 吉林农业科学, 2003 (6): 26-31.
- [6] 岳中辉, 孙国荣, 阎秀峰. 不同改良方法对盐碱土壤腐殖质及几种酶活性的影响 [J]. 植物研究, 2003 (2): 211-214.
- [7] 王银龙. 吉林省黑木耳产业发展转型升级研究 [J]. 北方园艺, 2017 (5): 170-173.
- [8] 张亭, 韩建东, 李瑾, 等. 食用菌菌渣综合利用与研究现状 [J]. 山东农业科学, 2016, 48 (7): 146-150.
- [9] 郑林用, 黄小琴, 彭卫红. 食用菌菌糠的利用 [J]. 食用菌学报, 2006, 13 (1): 74-75.
- [10] 石堃, 崔大练, 易杨, 等. 菌糠土壤改良剂对滩涂盐碱土壤主要理化性质的影响 [J]. 国土与自然资源研究, 2014 (5): 45-47.
- [11] 谢修鸿, 梁运江, 李玉. 黑木耳菌糠改良苏打盐碱土效果研究 [J]. 水土保持学报, 2008 (5): 130-133, 152.
- [12] 朱小平. 菌糠复合剂对土壤和作物生长的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [13] 白亚妮, 来航线, 温小玲, 等. 硫磺改良盐碱土的微生物效应研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2010, 38 (2): 153-157.
- [14] Selim E M, EI - Neklawy A S, EI - Ashry S M. Beneficial effects of humic substances on soil fertility to fertigated potato grown on sandy soil [J]. Libyan Agriculture Research Center

- Journal International, 2010, 1 (4): 255–262.
- [15] 王倩姿, 王玉, 孙志梅, 等. 腐植酸类物质的施用对盐碱地的改良效果 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (4): 1227–1234.
 - [16] 夏江宝, 许景伟, 李传荣, 等. 黄河三角洲盐碱地道路防护林对土壤的改良效应 [J]. 水土保持学报, 2011, 25 (6): 72–91.
 - [17] Li Y B, Xu Q T. Study on the effect of the use of FGD gypsum into the alkalization soil to improve soil property [J]. Appl Mech Materials, 2014, 448: 482–487.
 - [18] 唐雪东, 李亚东, 吴林, 等. 黑土施用有机物料和硫磺粉对越桔生长的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2003 (2): 179–182, 186.
 - [19] Wang Y P, Li Q B, Wang H, et al. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 159: 385–389.
 - [20] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
 - [21] Pamela C, Louise N, Joseph W K. Agricultural uses of plant biostimulants [J]. Plant and Soil, 2014, 383: 3–41
 - [22] Turgay O C, Karaca A, Unver S, et al. Effects of coal-derived humic substance on some soil properties and bread wheat yield [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2011, 42: 1050–1070.
 - [23] 张学智, 杨珍, 魏芝. 腐殖酸氮磷钾复合肥对春小麦的增产效应及对土壤肥力的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2000 (2): 36–37.
 - [24] 蔺吉祥, 李晓宇, 唐佳红, 等. 盐碱胁迫对小麦种子萌发、早期幼苗生长及 Na⁺、K⁺ 代谢的影响 [J]. 麦类作物学报, 2011, 31 (6): 1148–1152.
 - [25] 雷全奎, 郭建秋, 张洁, 等. 小麦、玉米硫肥施用效果 [J]. 土壤通报, 1999 (6): 277–278.
 - [26] Gu D Y, Wang X F, Yang F J, et al. Effects of purified humic acid on growth and nutrient absorption of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings under low nitrogen stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27 (8): 2535–2542.

Effect of compound modifier on the improvement effect of soda saline-alkali soil

MA Lie, LIU Jin-hua*, YANG Jing-min*, ZHANG Zhong-qing, SU Hong-ge (College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun Jilin 130118)

Abstract: In this experiment, bacterial bran, sulfur and humic acid were used as the modified matrix. The combination of *Auricularia auricula* bran + sulfur + humic acid was mixed with saline-alkali soil, saline-alkali soil was used as control, and its effects on physical and chemical properties of saline-alkali soil and the growth and development of puccinellia were studied. Physical index, chemical index, nutrient index and growth and development index of soda saline-alkali soil were analyzed. The results showed that the bulk density and soil pH decreased by 22.38% and 20.13% compared with the CK treatment. The effect of compound modifier on soil exchange sodium and exchange sodium percentage was 63.78% and 63.99% lower than that of CK treatment, respectively. The compound modifier increased the content of soil organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium, and significantly promoted the growth index of alkali fescue plants. The application of compound modifier to soda saline-alkali soil improved the physical and chemical properties of soil, promoted the growth of alkali fescue and increased the biomass. Based on the data of soil physical and chemical indexes and crop growth indexes, the best improvement effect was the treatment of C₆, which included 20 g/kg bacterial bran, 6 g/kg sulfur and 2 g/kg humic acid.

Key words: black fungus bacterial bran; sulphur; humic acid; compound modifier; soda saline-alkali soil