

生物炭与腐殖酸配施对盐碱土理化性质的影响

韩剑宏,孙一博,张连科,王维大,李玉梅,孙 鹏

(内蒙古科技大学能源与环境学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要:为探索新型盐碱化土壤改良剂,选取玉米秸秆、葵花秸秆制成生物炭与腐殖酸配合,研究玉米秸秆生物炭(A)、混合秸秆生物炭(A₁)、腐殖酸(B)、玉米秸秆生物炭+腐殖酸(AB)、混合秸秆生物炭+腐殖酸(A₁B)5种改良剂与土壤混合后较对照组原土(CK)中盐碱指标、肥力指标的改善情况。结果表明:生物炭和腐殖酸都具有改良土壤盐碱性、提高土壤肥力的作用,二者联合配施对降低土壤 pH、电导率(EC)、碱化度(ESP)及提高土壤养分的效果更明显,其中混合生物炭与腐殖酸配施(A₁B)效果最好,A₁B组处理的土壤 pH 较 CK 组显著降低 10.8%,EC 下降 55%,ESP 降低 9.8%;速效钾、有效磷、速效氮及有机质的平均增幅较其他 4 个处理分别提升 59.77%、210%、178%、180%。综上所述,混合施用生物炭及腐殖酸对于改良盐碱土效果明显。

关键词:生物炭;腐殖酸;盐碱土;土壤理化性质;配施

中图分类号:S141;S155.2⁺93 **文献标志码:**A

Effect of biochar and humic acid on physical and chemical properties of saline-alkali soil

HAN Jianhong, SUN Yibo, ZHANG Lianke, WANG Weida, LI Yumei, SUN Peng

(School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology,
Baotou, Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: In order to explore a new type of saline-alkali soil amendment, corn and sunflower straws were selected to make biochar and humic acid. Five amendment types including corn straw biochar (A), mixed straw biochar (A₁), humic acid (B), corn straw biochar + humic acid (AB), mixed straw biochar+humic acid (A₁B), were mixed with the soil and also the original soil as CK. Then, the improvement of medium saline-alkali index and fertility index were evaluated. The results showed that both biochar and humic acid improved soil salinity and fertility. The combined application of biochar and humic acid had more obvious effects on soil pH, electrical conductivity (EC), exchangeable sodium percentage (ESP), and soil nutrients. The effect of mixed biochar and humic acid (A₁B) was the best. Compared with CK group, the soil pH of A₁B group significantly decreased by 10.8%, while the EC decreased by 55.0%, and ESP decreased by 9.8%. The available K, P, N, and organic matter of A₁B increased by 59.77%, 210%, 178%, and 180%, respectively. In summary, mixed application of biochar and humic acid had a significant effect on improving saline-alkali soil.

Keywords: saline-alkali soil; soil physical and chemical properties; biochar; humic acid; combined application

盐碱土是我国重要的土壤后备资源,中国盐碱化土地面积约 26.6×10⁶ hm²,约占总陆地面积的 10.3%,且呈逐年增长的趋势^[1],截止 2010 年内蒙古盐渍化土地面积已达 3.2×10⁶ hm²,其中耕地盐渍化面积达到 4.7×10⁵ hm²,占可灌面积的 40%,且耕地次生盐渍化面积每年仍以 1.0×10⁴~1.3×10⁴ hm²

收稿日期:2019-12-19 修回日期:2020-09-07

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目“秸秆污泥生物炭对内蒙古沿黄滩地盐碱地土壤肥力的影响”(2016MS0405);包头市科技局项目“生物炭对盐碱地改良效果试验研究”(2016X1021)

作者简介:韩剑宏(1966-),女,内蒙古包头人,博士,教授,主要从事水资源管理与水污染控制技术的研究。E-mail: hjlhpm@163.com

通信作者:张连科(1980-),男,内蒙古赤峰人,博士,副教授,主要从事土壤化学与污染修复方面的研究。E-mail: lkzhang@126.com

的速度递增。内蒙古地区特别是黄河沿岸滩地由于气候及灌溉方式等原因,土壤结构板结、保水保肥能力下降,严重影响农作物的增产,制约了当地的经济发展。因此,改良利用盐碱土增加当地的耕地面积,对农业可持续发展及经济发展具有重要意义。

生物炭和腐殖酸是极易得的有机质,可促进迟效养分转化,提高氮、磷、钾的有效性。腐殖酸作为改良剂可提高土壤孔隙度,促进作物对土壤中养分及水分的利用^[2]。有报道发现腐殖酸可改变土壤离子组成,促进土壤团粒结构的形成,加快土壤盐分淋洗,抑制土壤返盐^[3]。多年施用腐殖酸能够增强土壤酶的活性,促进土壤有机物质的分解和转化,加速土壤养分的循环,达到培肥土壤与改善土壤质量的目的^[4],同时促进农作物生长^[5]。近年来,已有报道将生物炭用作土壤的改良剂^[6],发现其不仅可改善土壤结构、增加土壤团聚体稳定性、增加有机质^[7-8],还能延缓肥料养分在土壤中的释放,提高肥料养分利用率^[9]。对于生物炭、腐殖酸分别与其他改良剂配施改良盐碱土也有不少研究^[10-11],但是鲜有文献对生物炭与腐殖酸二者共同施用在盐碱土中的效果进行研究。本试验利用不同生物炭与腐殖酸进行单独及混合施用,通过室内土培研究不同静置时间下相关土壤指标的变化,以期为应用生物炭和腐殖酸改良盐碱化土壤提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及仪器设备

1.1.1 试验材料 供试土壤采集于内蒙古包头市土右旗某盐碱地耕层土壤(0~20 cm),采集时去除砾石及可见根系,土壤风干过 2 mm 筛,置于室温下(20℃)保存^[12]。

秸秆取自内蒙古西北部农区的玉米秸秆及葵花秸秆,去除表面泥土灰尘,在室温下自然风干,切碎至 2~3 cm 后,使用粉碎机进行粉碎试样,过 80 目筛后放置于密封袋中备用。

秸秆生物炭制备:将玉米秸秆、向日葵秸秆粉末分别放至于坩埚中,于管式炉中 300℃ 下加热分解 3 h,冷却至室温后取出。研磨后,过 80 目筛分别密封保存。

改良剂制备:混合生物炭 BC 材料为玉米秸秆生物炭与葵花秸秆生物炭以 1:1 的比例混合制得;BC₁ 材料为玉米秸秆生物炭;BC₂ 为葵花秸秆生物炭。

腐殖酸材料(HA)购于淘宝网博威神农官

方店。

试验试剂:氯化钾、氯化钠、氢氧化钠、抗坏血酸、甲醇、乙醇、丙酮、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、丙三醇、阿拉伯树胶、盐酸、磷酸二氢钾、苯酚钠、次氯酸钠、碳酸氢钠、酒石酸锑钾等均为分析纯,试验用水均为去离子水。

1.1.2 仪器设备 AA800 型原子吸收分光光度计(美国 PE 公司)、BRUKER TENSOR II 傅立叶转换红外光谱仪(布鲁克光谱仪器公司)、UV180G 紫外分光光度计(天津冠泽科技有限公司)、PHS-3C 型 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司)、SC-2300 型电导率仪(上海京灿精密机械有限公司)、ZWYR-2102C 型恒温培养振荡器(北京思博晟达科技有限公司)、GWL-1700GA 管式电炉(洛阳炬星窑炉有限公司)、DHP-9272 型电热恒温培养箱(上海一恒科学仪器有限公司)、GZX9140 MBE 数显鼓风干燥箱(上海博迅医疗生物仪器股份有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方案 本研究设置 6 个处理,分别为原土对照(CK)、单施玉米秸秆生物炭(A)、单施混合秸秆生物炭(A₁)、单施腐殖酸(B)、玉米秸秆生物炭+腐殖酸(AB)、混合秸秆生物炭+腐殖酸(A₁B)试验,具体施用方法及用量见表 1。

试验方法室内土培,将土壤与不同改良剂混合后静置 20~80 d,将加入改良剂试验的土壤和原土试验分别在 20~80 d 内测定土壤中 pH、电导率(EC)、阳离子交换量(CEC)、碱化度(ESP)、有效磷、速效氮、速效钾、有机质。

表 1 材料使用量		
Table 1 Application amount of materials		
处理 Treatment	腐殖酸添加量/% Humic acid dosage	生物炭添加量/(g·kg ⁻¹) /生物炭改良剂种类 Biochar dosage/(g·kg ⁻¹) /Soil amendment type
CK	0	0
A	0	25/BC ₁
A ₁	0	25/BC
B	10	0
AB	10	25/BC ₁
A ₁ B	10	25/BC

1.2.2 检测分析 生物炭和腐殖酸改良剂加入盐碱土壤后,按照国家现行有效标准方法对土壤进行组试验、测定土壤的基本理化性质,各项土壤理化性质指标的测定参照《土壤农业化学常规分析方法》^[13]:阳离子交换量(CEC)采用 NaOAc 法,交换性钠离子浓度采用乙酸铵-氢氧化铵交换-火焰光度法,有效磷采用乙酸钠-钼锑抗分光光度法,速效

氮采用碱解扩散法;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法,有机质采用重铬酸钾容量法。碱化度的计算公式为:ESP = 交换性钠离子浓度/土壤 CEC。土壤 pH 采用玻璃电极法测定,水土质量比为 2.5 : 1;土壤 EC 采用 EC 仪测定,水土比 5 : 1;生物炭 pH 采用 GB/T12496.7-1999 木质活性炭试验方法进行测定,水炭质量比为 20 : 1^[14]。

1.3 数据处理

本研究采用 Excel 整理数据,SPSS 21.0 统计软

件进行单因素方差分析,多重比较采用最小显著差异法,采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 土壤和改良剂理化性质

对生物炭改良剂的理化性质进行检测,从表 2 中可以看出改良剂中有机质、CEC、有效磷、速效钾高于土壤。可见,改良剂所含物质可以增加盐碱土中某些营养物质的含量,提高土壤肥力。

表 2 试验材料主要理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of test materials

材料 Material	pH	有机质/% Organic matter	CEC/(cmol · kg ⁻¹)	有效磷/(mg · kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/(mg · kg ⁻¹) Available potassium	速效氮/(mg · kg ⁻¹) Available nitrogen
BC	7.80	41.20	38.30	53.10	281.30	75
BC ₁	7.80	28.18	35.76	37.88	209.66	34
BC ₂	7.90	39.82	39.21	49.53	214.59	53

2.2 改良材料的傅立叶红外 (FT-IR) 表征

腐殖酸和生物质炭的傅立叶红外表征结果见图 1。生物炭在 2 922 cm⁻¹ 处的吸收峰为烷基的 —CH₂, 1 577 cm⁻¹ 处的吸收峰是 —N = N, 且 BC₂ 的吸收峰强于 BC₁, 说明葵花生生物炭具有更多的碳、氮元素, 可为土壤提供更多营养, 促进植物及土壤微生物的生长繁殖; 1 430 cm⁻¹ 处为 —COOH 和 —CHO 官能团, 1 027 cm⁻¹ 处为 C — O 官能团; 752 cm⁻¹ 的杂环或芳香环的 C — H 官能团说明生物炭具有芳香环结构, 可在土壤中长期稳定存在, 对土壤结构的维系起到一定的作用。腐殖酸在 2 500 ~ 3 500 cm⁻¹ 处吸收峰较生物质炭低, 说明其氮含量较低。在 1 354 cm⁻¹ 处的 —NO₂ 官能团和 750 ~ 860 cm⁻¹ 处的苯环或杂环取代的 C — H 官能团具有相同的功能。

因此, 生物炭表面以及腐殖酸表面都含有丰富的羧基、羟基等含氧官能团^[15], 这些基团能够表现出对酸碱的缓冲能力, 使得腐殖酸具有疏水、亲水的能力, 并且使其具有较高的阳离子交换量 (CEC)。

2.3 改良剂对土壤理化性质的影响

2.3.1 土壤 pH 值 自然条件下土壤酸碱性主要受土壤盐基状况的影响, 碱性反应及碱性土壤形成是土壤自身及外界共同作用的结果。pH 值是最直观判断土壤酸碱状况的指标, 对土壤的各种化学反应及过程有很大影响^[16]。施用不同的改良剂后土壤 pH 值测定结果如图 2 所示。与 CK 相比, 在静置 20 d 时各处理 pH 值变化不显著, 在 40 d 时各处理 pH 值均呈下降趋势, 其中 A₁B、AB 分别下降 0.28、0.36, 60 d 时 AB 与 A₁B 组 pH 值继续下降, 较前期 (20 d) 下降 0.45、0.7; 在 80 d 时 B、AB 及 A₁B 处理与

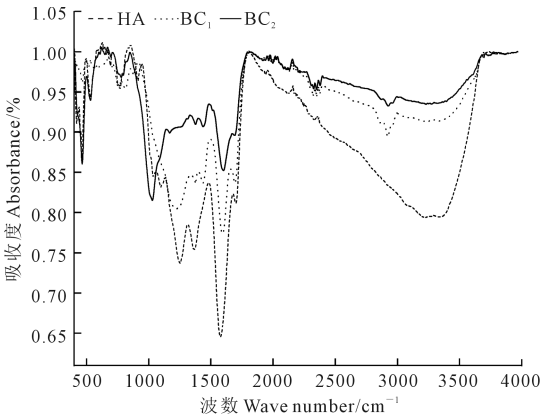
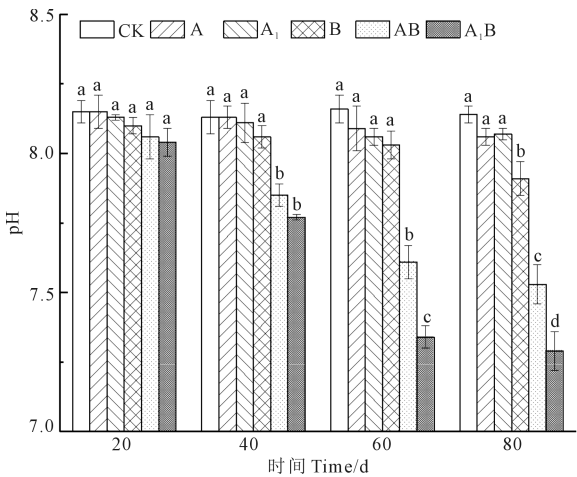


图 1 生物炭及腐殖酸的 FT-IR 图

Fig.1 FT-IR spectra of biochar and humic acid



注: 不同小写字母表示同一时期不同组试验间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Note: Different small letters indicate significant difference between different groups in the same period ($P<0.05$). The same below.

图 2 各处理不同时间下土壤 pH 值的变化情况

Fig.2 Changes of soil pH in different test groups at different times

CK 组土壤 pH 值相比出现较大变化,各处理 pH 值较 CK 下降 0.10~0.92,按 pH 值变化大小排列各处理顺序为:CK>A₁>A>B>AB>A₁B。经过 80 d 的观察测试发现,A₁B 组在降低 pH 值方面效果最好。

2.3.2 土壤电导率(EC) 土壤电导率是表征土壤混合盐分含量状况最为直观的指标。各处理土壤电导率(图 3)随时间推移呈现降低的趋势。在 20 d 时,各处理与 CK 均呈显著性差异,A、A₁、B 处理较 CK 分别增加 90.5%、67.9%、79.6%;40 d 较 20 d 各处理 EC 均有所下降,除 AB 外,其余各处理较 20 d 分别降低 25.6%、25.4%、13.1%、34.5%;60d 时,A₁与 CK 无显著性差异,B 与 AB 无显著性差异,各改良剂处理较上一测定时期(40 d)分别下降 4.4%、15.6%、53.5%、14.4%、39.4%;在 80 d 时,各处理均与 CK 呈现显著性差异,A、B、AB、A₁B 较 CK 的 EC 分别降低了 7.2%、19.3%、47.4%和 55.0%,A₁较 CK 增加了 14.0%,表明 AB、A₁B 降低电导率效果更为显著。

2.3.3 土壤阳离子交换量(CEC) 阳离子交换量与土壤保肥能力相关,也是土壤改良的重要指标。在改良剂施用期间,CEC 呈现逐渐增加的趋势(图 4),在 20 d 各处理 CEC 显著高于 CK,增加范围在 5.4%~27.8%之间;40 d 时 A、A₁、AB 处理之间无显著性差异,各处理显著高于 CK,同时较前一时期各处理 CEC 均有所增加,分别提高 43.6%、48.3%、77.8%、51.5%、9%;60 d 各处理间呈现显著性差异,较 40 d 继续增加,其中 A₁B 增加最多,提升 156.2%;80 d 各处理较 CK 呈现显著性差异,依次提高了 2.2 倍、2.8 倍、3.7 倍、4.1 倍和 3.4 倍,说明施用生物炭、腐殖酸及其混合施用对增加土壤阳离子交换量均有很好的效果,长期改良将对土壤中电导率的影响更为显著。

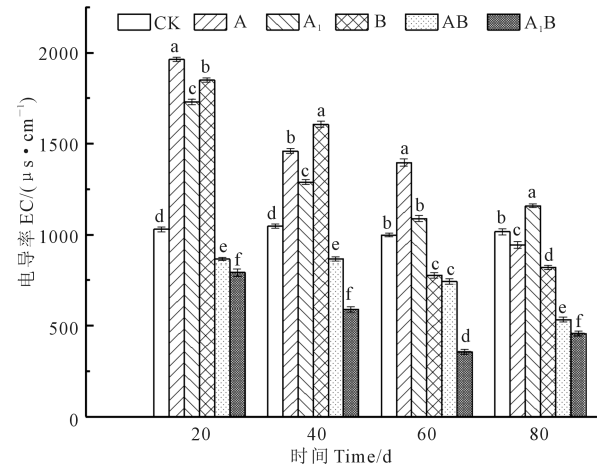


图 3 各处理不同时间土壤电导率的变化情况
Fig.3 Changes of soil conductivity in different test groups at different times

2.3.4 土壤碱化度(ESP) 碱化度是观察土壤盐碱化程度最直接的指标,从图 5 中可以看出 CK 属于中重度的盐碱化土壤(ESP>15%)。试验前期(20 d)A、A₁相比 CK 的 ESP 略有降低,A₁B 降低最多,约为 3.67%;40 d 除 A₁B 外各处理均保持下降的趋势,CK、A、A₁、B、AB 较 20 d 分别降低 3.16%、4.51%、5.36%、4.44%、2.99%;在 60 d 时 A 及 A₁ 均有小幅提升,是由于生物炭本身的灰分中成分导致交换性 Na⁺有短期的升高;80 d 各处理土壤 ESP 相较前期 20 d 时分别降低 12.51%、13.8%、32.17%、36.16%、37.10%。相比于其他,AB 及 A₁B 均持续降低了土壤 ESP,且在后期两者效果基本一致。单独施用生物炭和腐殖酸可以降低土壤碱化度,这与前人研究结果一致^[17]。联合施用生物炭及腐殖酸降低土壤 ESP 更有效,结合土壤 CEC 变化,可知土壤中交换 Na⁺随时间增加逐渐降低,降低了土壤碱化程度。

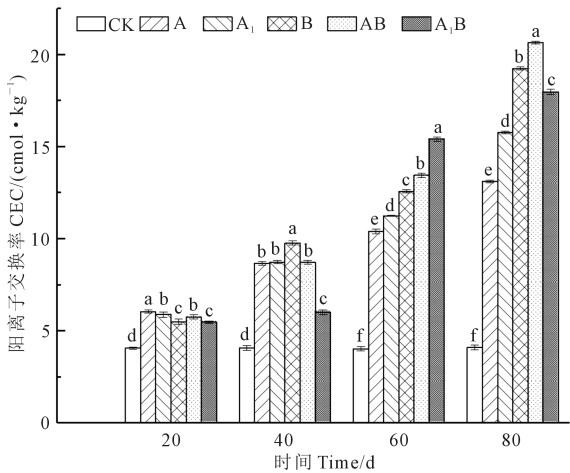


图 4 各处理在不同时间土壤 CEC 的变化情况
Fig.4 Changes of soil CEC in different test groups at different times

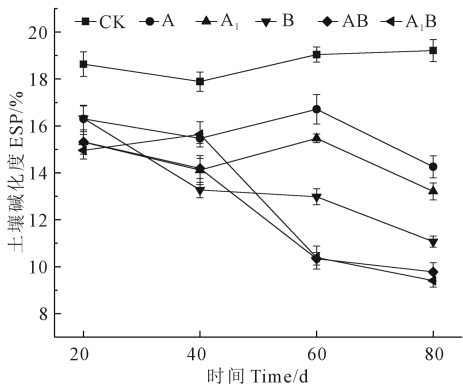


图 5 各处理在不同时间土壤 ESP 的变化情况
Fig.5 Changes of soil ESP in different test groups at different times

2.4 生物炭与腐殖酸配施对土壤养分的影响

速效 N、P、K 是植物所能直接利用的养分,可保持土壤中植物所需营养元素,增加土壤持水量,减少营养元素的流失^[18]。从表 3 可知,在施用初期(20 d)除 B 处理外,其余有效磷较 CK 增幅依次达 33.9%、20.7%、81.2%和 64.1%,可以看出,在短期内有效磷含量增加较 CK 出现显著性差异,而 B 处理较 CK 减少 6.0%;与 CK 相比各处理速效氮含量依次增加 35.8%、67.2%、52.2%、123.9% 和 138.8%;速效钾的含量分别提高 27.8%、50.1%、85.8%、84.6% 和 56.4%,有机质分别增加 29.8%、31.6%、82.13%、84.4%、103.3%。40 d 时各处理速效钾、速效氮及有机质均显著高于 CK,有效磷除 B 处理外均有所增加,速效钾、速效氮、有机质较前期有所增加。60 d 时除 B 处理的有效磷含量与 CK 差异不大外,其余各处理较 CK 仍呈现显著差异,有效磷较前期有所降低,而速效钾、速效氮及有机质则较前期增势减缓;在施用后期(80 d),各处理较 CK 有效磷含量分别增加 71.1%、54.9%、11.7%、39.8%、61.1%,这与李春越等^[19]的研究结果相一致。速效氮较前一时期基本维持稳定,AB、A₁B 处理速效钾仍有小幅提升,分别较前期升高 10.0%、8.9%,有机质的含量基本

与 60 d 相同。

2.5 同一时期各指标间的相关性分析

对同一时期的不同指标进行相关性分析,如表 4 所示。在 20 d 时有效磷与速效钾、速效氮、pH 呈极显著相关,pH 与有效磷、速效钾、速效氮及有机质都呈明显的负相关,说明这个时期内 pH 可作为判断速效营养以及有机质变化趋势的依据。

40 d 时有机质与有效磷呈现相关性,与速效钾及速效氮呈现显著相关性,因此可以尝试以有机质作为判断速效营养状况的依据;电导率与速效氮、速效钾及有机质呈现极显著相关,可将电导率作为判断有机质变化的依据。此时期内 pH 与其他指标并未呈现相关性。

施用 60 d 时,pH 与速效钾呈现负相关,与速效氮、有效磷、有机质、CEC 及电导率呈现极显著负相关性;同时 CEC 与速效磷、速效钾、速效氮及有机质均呈现极显著正相关性,说明在此期间可通过 pH 了解土壤指标变化,同时可通过 CEC 判断土壤营养指标的变化趋势。80 d 后,可看出土壤 CEC 与速效钾、有效磷、速效氮及有机质呈极显著相关,可以 CEC 作为判断此期间土壤速效营养指标及有机质状况的依据。同时,pH 与电导率呈现负相关。

表 3 各处理在不同时间下土壤养分变化情况
Table 3 Changes of soil nutrients in different test groups at different times

时间/d Time	处理 Treatment	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K	有机质/% Organic matter
20	CK	73.64±5.35e	67±3.5f	207.50±6.31f	6.10±0.35d
	A	98.63±3.56c	91±5.1e	265.10±4.78e	7.92±0.61c
	A ₁	88.93±4.51d	112±4.6c	311.40±9.60d	8.03±0.73c
	B	69.20±3.74f	102±3.1d	385.46±12.20a	11.11±1.06b
	AB	133.41±6.37a	160±2.8a	383.07±9.60b	11.25±1.14b
	A ₁ B	120.88±5.84b	150±4.6b	324.63±12.60c	12.40±0.89a
40	CK	73.64±3.54d	65±1.3e	206.10±8.36 f	6.07±0.62c
	A	115.34±4.17c	139±3.3c	306.70±10.70e	9.54±0.94b
	A ₁	112.83±6.39c	151±4.2b	380.21±15.31d	9.40±0.77b
	B	65.90±4.21d	126±3.6d	394.73±14.36c	13.81±1.21a
	AB	117.49±6.17b	176±3.1a	448.03±18.94a	12.69±1.18 a
	A ₁ B	131.00±5.47a	180±2.8a	425.67±15.72b	13.66±1.09 a
60	CK	71.14±3.64d	64±2.5e	204.21±9.65e	5.96±0.66e
	A	112.67±4.51c	142±4.1c	325.16±15.33d	8.87±0.85d
	A ₁	107.22±4.77c	157±3.0b	402.30±21.34c	8.78±0.74d
	B	70.63±6.49d	135±5.2d	406.21±15.79c	12.00±0.81c
	AB	103.44±5.14b	188±5.6a	500.36±16.44a	13.60±1.06b
	A ₁ B	128.14±5.60a	190±4.7a	480.62±19.27b	15.41±1.15a
80	CK	70.33±3.31c	61±3.8f	198.12±16.90g	5.74±0.66f
	A	102.36±4.6c	140±4.6d	296.25±15.34f	9.69±0.49d
	A ₁	109.55±5.7b	155±4.7c	366.33±20.55d	8.98±0.84e
	B	78.52±6.34c	132±3.9e	319.07±23.21e	12.72±0.73c
	AB	105.34±4.78b	188±5.5b	550.46±16.34a	14.21±0.96b
	A ₁ B	113.63±6.14a	192±2.8a	523.36±16.29b	15.94±1.05a

注:不同小写字母表示同一时期处理间差异显著(P<0.05)。
Note: Different small letters indicate significant difference between different groups in the same period (P<0.05).

表 4 试验指标随时间变化的相关性
Table 4 Correlation of test indexes variation with time

时间/d Time	指标 Index	有效磷 Available P	速效氮 Available N	速效钾 Available K	有机质 Organic matter	CEC	pH	电导率 Conductivity
20	有效磷 Available P	1	0.843 **	0.658 **	0.427	0.122	-0.765 **	0.044
	速效氮 Available N		1	0.914 **	0.734 **	0.513 *	-0.687 **	0.194
	速效钾 Available K			1	0.878 **	0.595 **	-0.690 **	0.516 *
	有机质 Organic matter				1	0.528 *	-0.660 **	0.687 **
	CEC					1	0.066	0.025
	pH						1	-0.580 *
	电导率 Conductivity							1
40	有效磷 Available P	1	0.865 **	0.356	0.553 *	0.454	-0.463	0.365
	速效氮 Available N		1	0.717 **	0.829 **	0.504 *	-0.451	0.658 **
	速效钾 Available K			1	0.834 **	0.528 *	-0.333	0.714 **
	有机质 Organic matter				1	0.403	-0.286	0.905 **
	CEC					1	-0.065	-0.010
	pH						1	-0.295
	电导率 Conductivity							1
60	有效磷 Available P	1	0.826 **	0.351	0.726 **	0.631 **	-0.781 **	0.390
	速效氮 Available N		1	0.603 **	0.865 **	0.941 **	-0.757 **	0.244
	速效钾 Available K			1	0.631 **	0.697 **	-0.526 *	0.191
	有机质 Organic matter				1	0.906 **	-0.925 **	0.536 *
	CEC					1	-0.743 **	0.236
	pH						1	-0.683 **
	电导率 Conductivity							1
80	有效磷 Available P	1	0.886 **	0.927 **	0.737 **	0.610 **	-0.819 **	0.269
	速效氮 Available N		1	0.933 **	0.854 **	0.883 **	-0.763 **	0.057
	速效钾 Available K			1	0.872 **	0.790 **	-0.892 **	0.391
	有机质 Organic matter				1	0.863 **	-0.904 **	0.330
	CEC					1	-0.628 **	0.073
	pH						1	-0.535 *
	电导率 Conductivity							1

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 $P<0.01$ 水平(双侧)上显著相关。
Note: * significant correlation at $P<0.05$ (bilateral) level; ** significant correlation at $P<0.01$ (bilateral).

3 讨 论

3.1 生物炭与腐殖酸配施对土壤理化性质的影响

生物炭与腐殖酸施用对于盐碱土改良具有很好的效果,不仅降低土壤的盐碱化程度,还可以增加土壤肥力。当生物炭与土壤混合,生物炭可以向腐殖酸转化^[20],同时生物炭中的灰分含有较多的钾离子,不仅能够提高土壤中钾素含量,而且钙离子及钾离子可代换土壤上的钠离子,降低土壤 ESP 和 pH 值^[21];腐殖酸中的羧基、羟基等含氢官能团在土壤中多为酸性,可有效降低土壤 pH 值,提升钙离子溶解程度,代换钠离子从而降低土壤 pH 和 ESP,二者的使用可增强上述效果。但是使用后的 20~40 d 腐殖酸在土壤中会与碱性离子结合,生成水溶性腐殖酸盐,导致土壤中电导率升高,后期腐殖酸中羧基等酸性官能团逐渐与碳酸盐等发生反应又能降低电导率。另外生物炭与腐殖酸均可吸附土壤中硝酸根及部分阳离子,且改良剂的芳香结构维系了

土壤孔隙^[22],维持了土壤水盐平衡,降低了土壤毛细结构中的盐分含量,从而降低土壤电导率。因此出现了土壤短期电导率升高后又降低的现象。

3.2 生物炭与腐殖酸配施对土壤养分的影响

生物炭和腐殖酸所具有的羧基、羟基与多种阳离子均可发生离子交换,从而提升了土壤 CEC,降低养分淋洗^[23],增加养分循环利用效率^[24]。

通过 FT-IR 表征试验证明腐殖酸具有羧基、羰基、醇羟基、酚羟基等官能团,有较强的离子交换能力,同时可以减少氨态氮损失,提高土壤对氮肥的利用;同时,土壤中 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 在腐殖酸存在的情况下分解出 $\text{H}_2(\text{PO}_4)^-$ 、 $\text{H}(\text{PO}_4)^{2-}$,可提高磷素有效性,减少磷素固定,但是在施用后期出现磷素下降接近对照组土壤水平。分析原因是由于土壤缺乏有机质,会将前期活化的磷素吸附占据了土壤胶体孔隙,从而导致磷素下降^[25],这也可能与土壤中离子变化及土壤中相关酶的改变有关。

生物炭富含有机碳,可以增加土壤有机质含

量^[26],通过生物质炭可以改善土壤通透性,利于表层土壤盐分向土壤下层扩散^[27]。由于配施组试验中 BC₁、BC₂这两种生物炭结构及养分含量略有不同,导致土壤中的氮素含量略有差异。生物炭中含有灰分,腐殖酸中含有一定量的矿物质,二者均含有一定量的钾盐,可提升土壤中速效钾的含量,同时促进养分有效化,提升有机质的转化效率。因此 pH 值与 CEC、速效氮、有效磷、速效钾、有机质、电导率在改良剂施用 40~80 d 呈现负相关,而营养指标之间呈现正相关。

4 结 论

本文对添加不同改良剂的盐碱土盐碱指标、营养指标进行测定,得到如下结论:

(1)生物炭和腐殖酸都具有改良土壤盐碱性、提高土壤肥力的作用,二者联合配施对降低土壤 pH、EC、ESP 及提高土壤养分的效果更明显,其中混合生物炭与腐殖酸配施(A₁B)效果最好。

(2)随着施用时间增加,A₁B 的效果最为显著,pH 较 CK 降低 10.8%,有机质提升 178%,碱化度降低 9.8%。

参 考 文 献:

[1] 卢星辰,张济世,苗琪,等. 不同改良物料及其配施组合对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效果[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 326-332.

[2] Zandonadi D B, Canellas L P, Facanha A R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation [J]. Planta, 2007, 225(6): 1583-1595.

[3] 朱福军,丁方军,吴钦泉,等. 含腐植酸土壤调理剂对盐碱土的淋洗效应[J]. 腐植酸, 2017, (6): 17-27,49.

[4] 马斌,刘景辉,张兴隆. 褐煤腐殖酸对旱作燕麦土壤微生物量碳、氮、磷含量及土壤酶活性的影响[J]. 作物杂志, 2015, (5): 134-140.

[5] 顾鑫,任翠梅,杨丽,等. 天然煤炭腐植酸对盐碱土改良效果的研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9): 57-61.

[6] Cao X D, Harris W. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5222-5228.

[7] 王一宇,王圣森,戴九兰. 生物炭对盐碱土壤氨挥发的影响[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3738-3745.

[8] 史思伟,娄翼来,杜章留,等. 生物炭的 10 年土壤培肥效应[J]. 中

国土壤与肥料, 2018, (6): 16-22.

[9] 何绪生,耿增超,余雕,等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1-7.

[10] 韩剑宏,李艳伟,张连科,等. 生物炭和脱硫石膏对盐碱土壤基本理化性质及玉米生长的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(9): 5291-5297.

[11] 岳殷萍,李虹谕,张伟华. 脱硫石膏与腐植酸改良盐碱土的效果研究[J]. 腐植酸, 2017, (2): 46.

[12] 陈雅涵,谢宗强. 保存过程对土壤生化指标的影响及保存土样的应用[J]. 土壤学报, 2018, 55(4): 783-796.

[13] 李西开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 55-108.

[14] 国家市场监督管理总局. GB/T12496.7-1999 木质活性炭试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[15] Lee J W, Kidder M, Evans B R, et al. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(20): 7970-7974.

[16] 黄昌勇. 土壤学(上册) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 171-173.

[17] 孙军娜,董陆康,徐刚,等. 糠醛渣及其生物炭对盐渍土理化性质影响的比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(3): 532-538.

[18] 王萌萌,周启星. 生物炭的土壤环境效应及其机制研究[J]. 环境化学, 2013, 32(5): 768-780.

[19] 李春越,党廷辉,王万忠,等. 腐殖酸对农田土壤磷素吸附行为的影响研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 77-82.

[20] 花莉,金素素,洛晶晶. 生物质炭输入对土壤微域特征及土壤腐殖质的作用效应研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(11): 1795-1799.

[21] 范富,张庆国,郜继承,等. 玉米秸秆夹层改善盐碱地土壤生物性状[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 133-139.

[22] 孔祥清,韦建明,常国伟,等. 生物炭对盐碱土理化性质及大豆产量的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(4): 647-651.

[23] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review [J]. Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2): 403-427.

[24] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review[J]. Biology & Fertility of Soils, 2002, 35(4): 219-230.

[25] Ohno T, Hoskins B R, Erich M S. Soil organic matter effects on plant available and water soluble phosphorus[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(6): 683-690.

[26] 付琳琳,蔺海红,李恋卿,等. 生物质炭对稻田土壤有机碳组分的持效影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1379-1384.

[27] 张娟,徐宁彤,孟庆峰,等. 有机肥施用年限对土壤有机碳组分及其来源与玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 107-113..