

生物炭对滨海盐渍土理化性质及玉米幼苗抗氧化系统的影响

赵铁民^{1,2}, 李渊博¹, 陈为峰¹, 王会¹, 胡国庆¹, 诸葛玉平¹

(1. 土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院,
山东 泰安 271018; 2. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘要: 以黄河三角洲典型盐化潮土为供试土壤, 设置 12.5, 25.0, 50.0, 100 g/kg 4 个梯度生物炭添加量, 通过盆栽试验研究不同添加量下生物炭对滨海盐渍土理化性质及玉米幼苗抗氧化系统的影响。结果表明: (1) 与对照相比, 随着生物炭添加量的增加, 盐渍土的电导率、速效磷、速效钾、阳离子交换量及易氧化有机碳的含量呈现显著增加的趋势; 不同生物炭添加量下, 盐渍土的 pH、碱解氮含量略有下降, 但各添加量处理间差异不显著; 而生物炭对盐渍土可交换态钠含量无显著影响。(2) 添加适量生物炭(12.5, 25.0, 50.0 g/kg) 可显著提高玉米幼苗叶片抗氧化酶活性和根系活力, 并降低叶片超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量, 从而改善玉米幼苗的生理性状; 然而, 较高的生物炭添加量(100 g/kg) 对幼苗抗氧化系统产生不良影响, 造成植物体内活性氧的累积。因此, 添加适量生物炭可以改善滨海盐渍土的理化性质, 并在一定程度上有效改善盐胁迫下玉米幼苗的生理特性, 但较高用量对作物抗氧化系统具有抑制作用。

关键词: 滨海盐渍土; 生物炭; 抗氧化酶; 根系活力

中图分类号: S156.4; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0196-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.02.031

Effect of Biochar on the Physicochemical Properties of Coastal Saline Soil and the Antioxidation System Activity in Maize Seedlings

ZHAO Tiemin^{1,2}, LI Yuanbo¹, CHEN Weifeng¹, WANG Hui¹, HU Guoqing¹, ZHUGE Yuping¹

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources,
College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018;
2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract: The effects of biochar addition on the physicochemical properties of coastal saline soil and the activity of the antioxidation system in maize seedlings were studied by pot experiment, and the typical coastal saline soil sampled from Yellow River Delta was taken as test soil. A total of six treatments were set up in the experiment, including non-fertilizing (CK), fertilizing without biochar (CFK) and fertilizing with different addition rates of biochar (the addition rate was 12.5, 25.0, 50.0 and 100 g/kg, respectively). The results showed that: (1) Compared with CK, with the increasing of biochar-addition rate, the electrical conductivity (EC), available potassium, available phosphorus, cation exchange capacity (CEC) and easily oxidized organic carbon (EOC) of coastal saline soil increased significantly. The pH and alkali hydrolysable nitrogen content of soil treated with biochar showed decreased trends compared with CK, but there was no significant different between the biochar treatments. However, biochar addition had no significant effect on exchangeable sodium compared with CK. (2) Moderate addition rate of biochar (12.5, 25.0 and 50.0 g/kg) increased the activities of antioxidant enzymes (SOD, POD and CAT) and root activity in maize seedlings, and reduced the production rate of superoxide anion and hydrogen peroxide content of leaves, thereby improving the physiological characteristics of maize seedlings. However, the higher addition rate of biochar (100 g/kg) exhibited a negative impact on the activity of antioxidant enzyme in maize seedlings, resulting in the higher accumulation of reactive oxygen in the plants. Therefore, moderate addition rate of biochar could improve the

收稿日期: 2018-09-07

资助项目: 山东省重点研发计划项目(2016CYJS05A02); 山东省自然科学基金项目(ZR2016DQ05, ZR2017BD012); 中国博士后科学基金项目(2016M602169, 2018M632702)

第一作者: 赵铁民(1996—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤改良及水土保持研究。E-mail: tiemzhao@163.com

通信作者: 胡国庆(1985—), 男, 讲师, 主要从事土壤改良及环境效应研究。E-mail: gqhu@sdau.edu.cn

physical and chemical properties of coastal saline soil, and to a certain extent, effectively improve the physiological characteristics of maize seedlings under salt stress, but the higher addition rate could inhibit the antioxidant system of crops.

Keywords: coastal saline soil; biochar; antioxidant enzyme; root activity

我国滨海盐渍土面积大且分布广泛,是重要的后备土地资源。如何合理地开发利用滨海盐渍土对于提高土地使用率、增加粮食产量以及保护生态环境等具有重要意义^[1]。生物炭是由植物生物质在完全或部分缺氧的情况下经热解炭化产生的一类高度芳香化难溶性固态物质。目前,越来越多的研究^[2-3]表明,生物炭具有很大的潜在价值和应用空间,与土壤功能退化和农业可持续发展等问题联系日益紧密。

长期以来,人们改良滨海盐渍土多采用工程措施,但利用生物炭进行滨海盐渍土改良的研究并不多见^[4]。生物炭的比表面积大、疏松多孔,容重极小,还具有丰富的碳元素以及较强的稳定性。有研究^[2-3]表明,生物炭具有协调土壤中水气关系,提高土壤养分含量,减少养分淋失,在较长时间范围内增强土壤生产力和可持续性等能力。近年来,尽管国内外的许多学者在生物炭的制备、性质以及生物炭在农业和生态环境领域的应用等方面做了许多研究^[5-7]。但是,目前仍缺乏生物炭对盐渍土理化性质及作物生理性状影响方面的系统评价^[8]。为此,本研究采集黄河三角洲典型滨海盐渍土,通过盆栽试验研究不同添加量下生物炭对滨海盐渍土理化性质及玉米幼苗抗氧化系统的影响,以期生物炭改良滨海盐渍土提供科学依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤取自山东省东营市利津县山东汇邦渤海农业开发有限公司基地,为黄河三角洲典型滨海盐化潮土,其基本理化性状为:pH 8.76,电导率(EC) 1 792 $\mu\text{S}/\text{cm}$,碱解氮含量 38.5 mg/kg,速效磷含量 8.08 mg/kg,速效钾含量 207.0 mg/kg,交换态钠(Ex-Na)含量 1.83 cmol/kg,阳离子交换量(CEC) 2.89 cmol/kg,易氧化有机碳(EOC)含量 2 342 mg/kg。本试验所选用生物炭以玉米秸秆为原料,在隔绝氧气 450 $^{\circ}\text{C}$ 下裂解制成的黑色粉末(≤ 2 mm),其基本理化性质为:pH 9.63,EC 3 965 $\mu\text{S}/\text{cm}$,碱解氮含量 5.58 mg/kg,速效磷含量 139.27 mg/kg,速效钾含量 147.0 mg/kg,Ex-Na 1.83 cmol/kg,CEC 9.56 cmol/kg,EOC 3 371 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于 2017 年 6 月在山东农业大学北校区温室

进行。试验采用盆栽方式,每盆装风干盐渍土 1.0 kg。试验用化肥为复合肥($\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ 为 15-15-15),N、 P_2O_5 、 K_2O 的施用量分别是 0.05,0.05,0.05 g/kg 土,共设 6 个处理:(1)对照(CK,不施肥);(2)正常施肥(CFK);(3)生物炭用量 12.5 g/kg 土+正常施肥(T1);(4)生物炭用量 25.0 g/kg 土+正常施肥(T2);(5)生物炭用量 50.0 g/kg 土+正常施肥(T3);(6)生物炭用量 100 g/kg 土+正常施肥(T4)。每个处理重复 3 次。试验用玉米品种为“登海 605”,管理与常规盆栽试验相同。

1.3 样品采集与分析

在玉米 7 叶期,采集土壤和植株样品。采集土壤样品后把玉米根系挑出并在阴凉通风处晾干;另外,把玉米植株分为地上部和根系,之后用去离子水冲洗干净。土壤 pH 和 EC 分别采用 pH 计和电导率仪测定。碱解氮含量采用碱扩散法测定;速效磷含量采用碳酸氢钠溶液浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用醋酸铵溶液浸提,火焰光度计法测定;Ex-Na 采用乙酸铵—氢氧化铵交换—火焰光度法测定;CEC 含量采用乙酸钠—火焰光度法^[9]测定;EOC 含量采用 333 mmol/L 高锰酸钾氧化法^[10]测定。

取玉米展开叶搅碎混匀并研磨以备生理指标测定。超氧阴离子产生速率采用羟胺氧化反应法测定;过氧化氢含量测定参照 Patterson 等^[11]的方法;抗氧化酶活性的测定:超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑法^[12],过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[12],过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法^[12];根系活力采用 TTC 法^[12]测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据处理和作图,采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 生物炭对滨海盐渍土理化性质的影响

由表 1 可知,与 CK 相比,添加不同量生物炭降低盐渍土 pH,其中 T1、T2、T3、T4 分别降低了 4.15%,2.47%,3.88%,3.65%,但生物炭不同添加量处理间差异不明显($p>0.05$)。EC 的大小由土壤中盐基离子的浓度和有机胶体的数量共同决定。与 CK 相比,CFK 对于盐渍土的 EC 影响并不显著,而随着生物炭添加

量的增加(T1~T4),盐渍土的 EC 分别提高 11.14%,25.93%,29.32%,25.06%。CFK 通过向土壤中添加化肥,在一定程度上提高氮素有效性,使土壤碱解氮的含量明显增多;添加生物炭各处理(T1~T4)碱解氮含量与 CK 相比分别降低 9.09%,15.15%,20.00%,27.27%,并且随生物炭添加量的增多,碱解氮的数量呈逐渐降低趋势。添加生物炭各处理(T1~T4)

显著提高速效磷、速效钾和 EOC 的含量($p<0.05$),分别比 CK 显著增加 22.57%~52.31%,29.44%~98.02%,33.06%~123.03%,其中随生物炭添加量的增加,土壤速效钾和 EOC 的含量均呈逐渐增多趋势。另外,生物炭处理对盐渍土 Ex—Na 的影响不显著,但是在一定程度上提高了 CEC 含量,且随添加量的增加呈逐渐增大趋势。

表 1 生物炭对滨海盐渍土理化性质的影响

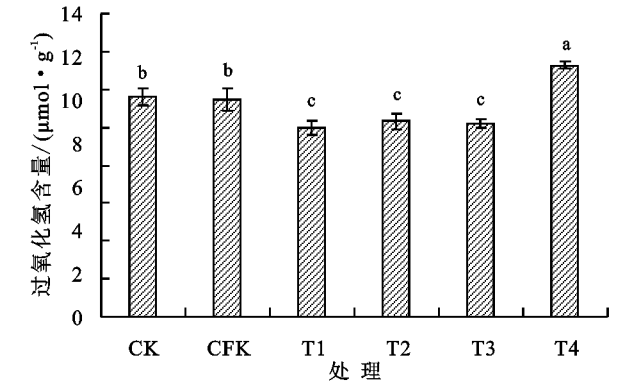
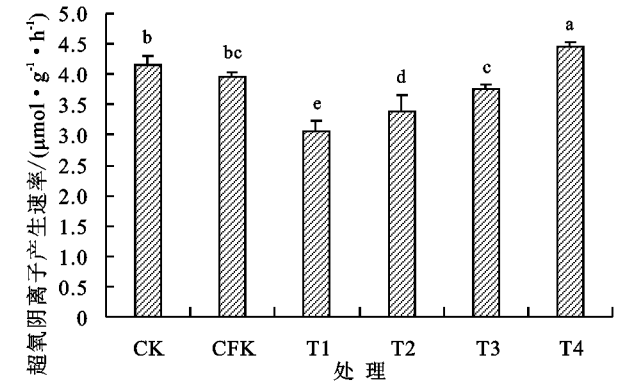
处理	pH	EC/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Ex—Na/ ($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	CEC/ ($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	EOC/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	8.76a	1792b	38.50ab	8.08c	207.0d	1.83a	2.89b	2342c
CFK	8.62ab	1715b	46.67a	8.83c	235.7cd	1.89a	2.95ab	2790c
T1	8.40b	1992ab	35.00ab	10.20b	267.9bc	1.75a	2.98ab	3116bc
T2	8.54ab	2257a	32.67ab	9.90b	292.4b	1.80a	3.04ab	4212ab
T3	8.42b	2317a	30.80ab	12.30a	363.7a	1.85a	3.21a	4634a
T4	8.44b	2241a	28.00b	12.13a	409.8a	1.77a	3.19a	5224a

注:EC、Ex—Na、CEC、EOC 分别表示电导率、交换态钠、阳离子交换量、易氧化有机碳,表中数据为平均值;同列不同字母表示各处理差异达显著性水平($p<0.05$)。

2.2 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗抗氧化系统的影响

2.2.1 生物炭对玉米幼苗超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量的影响 由图 1 可知,与 CK 相比,CFK 的植株超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量均差异不显著($p>0.05$)。各生物炭添加处理间 2 个指标均有不同程度的降低和升高。T1、T2、T3 处理显著降低植物体内超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量,降低幅度分

别为 26.48%,18.38%,9.31% 和 14.12%,11.08%,11.98%,然而当生物炭添加量增加到 100 g/kg(T4)时,超氧阴离子的产生速率和过氧化氢含量显著增加($p<0.05$)。这说明在一定添加量范围内(12.5~50.0 g/kg),生物炭可以缓解盐胁迫下活性氧对玉米幼苗生物膜结构和功能的有害影响,而较高添加量下生物炭会加重盐胁迫下玉米幼苗体内活性氧的累积。



注:图中不同字母表示各处理达显著差异($P<0.05$)。下同。

图 1 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗叶片超氧阴离子产生速率和过氧化氢含量的影响

2.2.2 生物炭对玉米幼苗抗氧化酶活性的影响 植物体内的抗氧化酶活性可灵敏反映植物对氧化胁迫的响应情况,因而可用于评价生物炭对盐胁迫下植物氧化胁迫的缓解效应^[13]。由图 2 可知,生物炭添加量为 12.5,25.0,50.0 g/kg 时,玉米幼苗的 SOD 活性比 CK 分别增加 12.61%,11.16%,1.94%,而 T4 处理的 SOD 活性则比 CK 降低 8.76%。由此可见,添加适量生物炭能够提高 SOD 的活性,增强其对于植物的保护及修复功能,而较高的生物炭添加量(100 g/kg),则会抑制 SOD 的活性。

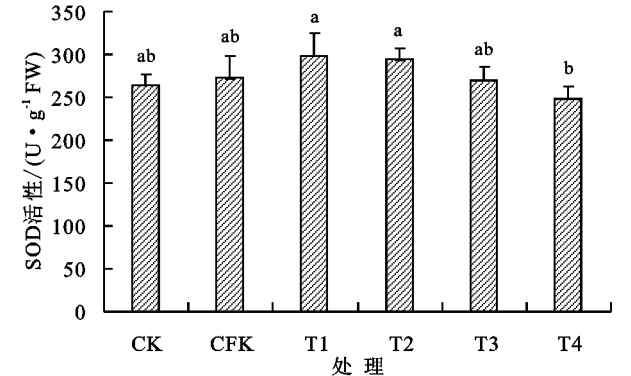


图 2 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗叶片 SOD 活性的影响

由图3可知,在盐渍土中加入生物炭后,玉米幼苗的CAT活性分别比CK增加121.30%,129.39%,145.62%,46.67%。通过对比不同添加量处理可以看出,加入生物炭能够显著提升玉米幼苗体内CAT活性($p<0.05$),并且在一定范围内(12.5~50.0 g/kg),随着生物炭添加量的增加,CAT活性逐渐提高;而由T4可以看出,当添加量超过一定值时,生物炭的促进作用开始下降,甚至可能会起到相反的作用。

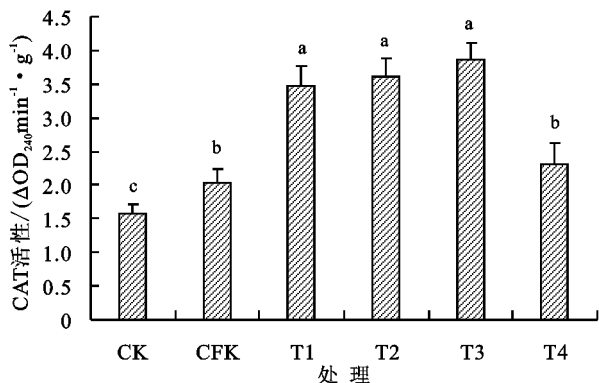


图3 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗叶片CAT活性的影响

由图4可知,在盐渍土中添加生物炭后,玉米幼苗的POD活性分别比CK处理增加37.05%,42.68%,40.26%,15.43%。通过对比可以看出,添加生物炭能够显著提升玉米幼苗体内POD活性($p<0.05$),并且在一定范围内(12.5~50.0 g/kg),随着生物炭添加量的增加,POD活性显著提高;与CAT活性变化相同,当添加量超过一定值时,生物炭会降低植株体内POD活性。

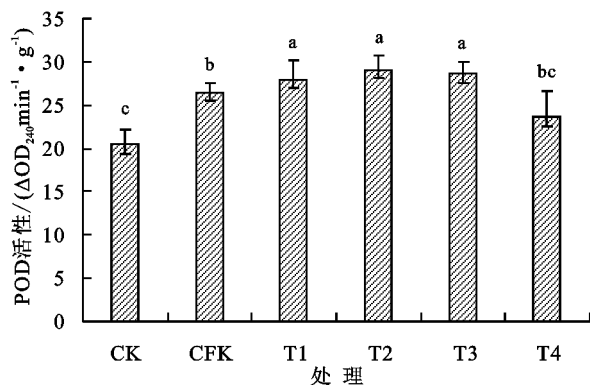


图4 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗叶片POD活性的影响

2.3 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗根系活力的影响

由图5可知,T1、T2、T3处理下,玉米幼苗的根系活力比CK显著提高($p<0.05$),分别提高20.21%,23.47%,26.98%,而T4处理则基本与CK没有明显的差异($p>0.05$)。因此,添加适量(12.5~50.0 g/kg)生物炭能够提高玉米幼苗根系活力,促进植株生长,而生物炭的施用量过大(100 g/kg)时,这种促进作用会显著降低。

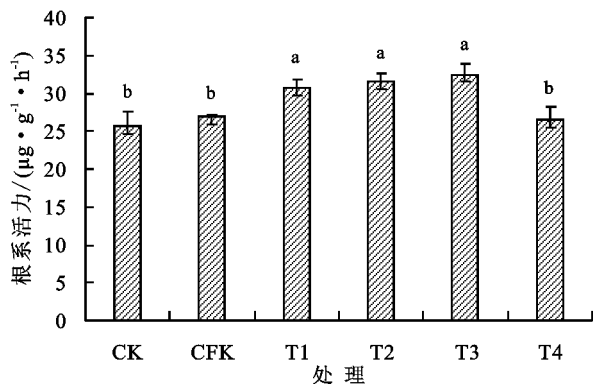


图5 生物炭对盐胁迫下玉米幼苗根系活力的影响

3 讨论

3.1 不同添加量生物炭对滨海盐渍土理化性质的影响

生物炭加入土壤后,土壤的各项理化性质会因水热条件、土壤类型及生物炭添加量等条件的不同而有所差异。Chintala等^[14]在研究中认为,生物炭能够有效改良酸性土壤的pH,而对于碱性土壤的影响不是很大。本研究中添加不同量的生物炭后,盐渍土的pH均比CK处理略有下降,这与刘易等^[8]的研究结果不太一致,可能是由于本研究所用生物炭呈弱碱性,而滨海盐渍土具有较高的pH背景值(8.76),生物炭加入后对其pH的影响较小。土壤碱解氮含量与生物炭添加量关系为:CK处理含量最高,添加生物炭各处理均低于CK处理,且随着添加量的增加,碱解氮含量呈降低趋势,分析原因可能是由于生物炭在添加量逐渐增加的情况下,对 NO_3^- 和 NH_4^+ 的吸附作用逐渐增强,加强了氮的固定作用,从而减少土壤有效氮的挥发与淋失。Lehmann等^[15]指出,生物炭可以通过吸附 NO_3^- 和 NH_4^+ 减少土壤的氮挥发与氮素流失,提高氮肥利用率。生物炭虽然经过高温裂解,但仍含有较多的盐类物质,磷素多以可溶态的有效形态保存下来,在施入土壤后,能够显著增加土壤速效磷含量,与周桂玉等^[16]的研究结果相同。本研究中土壤速效钾含量与生物炭添加量关系为:CK处理含量最低,添加生物炭的各处理均高于CK处理,且随着添加量的增加,速效钾含量呈显著增加趋势,这可能是由于生物炭中钾的有效性较高,能够显著提升盐渍土中速效钾的含量,增强土壤持续供钾的能力。EOC具有移动快、稳定性差与易氧化的特点,在土壤碳氮循环中有着重要的意义^[10]。通过本研究可以得出,添加生物炭能够显著增加盐渍土EOC含量,且随着添加量的增加,EOC含量也显著增加,这与曾爱^[17]的试验结果一致。另外,本研究中所用生物炭具有较高的CEC,尽管加入盐渍土后在一定程度上增加了EC和CEC,但是对盐渍土中 Ex-Na 含

量无显著影响。总体来看,添加生物炭能够有效改善滨海盐渍土的理化性状。

3.2 不同添加量生物炭对盐胁迫下玉米幼苗抗氧化系统的影响

本研究中玉米幼苗根系活力与生物炭添加量的关系为:CK 处理含量最低,添加生物炭各处理均高于 CK 处理,且在 12.5~50.0 g/kg 范围内随着添加量的增加,根系活力呈显著增加趋势,而 100 g/kg 添加量处理则增加量不明显,说明适量生物炭对于作物幼苗生长发育起到促进作用^[13],这可能与添加适量生物炭改善了盐渍土的理化性状有关^[18]。在 12.5~50.0 g/kg 添加量范围内,玉米幼苗的超氧阴离子产生速率、过氧化氢含量均显著低于 CK 处理,而 100 g/kg 添加量时最高,且高于 CK 处理,这是由于在 12.5~50.0 g/kg 生物炭添加量下,玉米幼苗的 CAT、POD、SOD 等抗氧化酶的活性明显增加,在一定程度上降低盐胁迫下玉米幼苗体内活性氧的累积,缓解活性氧的有害影响。而随生物炭添加量的增加,植株抗氧化酶活性呈现下降趋势,这导致活性氧的累积,可使幼苗生长出现生理损伤,表现出植物毒性效应^[13]。综上所述,向滨海盐渍土中加入适量的生物炭,能够有效改善植物生理状态,促进作物的生长,但是应注意控制生物炭的添加量。

4 结论

生物炭作为一种良好的土壤改良剂,在改良滨海盐渍土方面具有重要作用。生物炭添加可以显著提高盐渍土的 EC、速效磷含量、速效钾含量、CEC 及 EOC 的含量,而对盐渍土的 pH、碱解氮和 Ex—Na 含量可以小幅降低或无显著影响。这在一定程度上改善了滨海盐渍土的理化性状。在 12.5~50.0 g/kg 添加量下,生物炭可显著提高玉米幼苗叶片抗氧化酶活性和根系活力,降低叶片活性氧累积,从而改善玉米幼苗的生理特性;在 100 g/kg 添加量下,生物炭对玉米幼苗抗氧化系统产生一定抑制作用,造成植物体内活性氧的累积,不利于植株生长。因此,本研究推荐≤50.0 g/kg 的生物炭添加量用于滨海盐渍土改良。

参考文献:

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] 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.

- [3] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3324-3333.
- [4] 王睿彤, 孙景宽, 陆兆华. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土生化特性的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 425-431.
- [5] 陈温福, 张伟明, 孟军, 等. 生物炭应用技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 83-89.
- [6] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977-982.
- [7] 李力, 刘娅, 陆宇超, 等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. 环境化学, 2011, 30(8): 1411-1421.
- [8] 刘易, 祁通, 孟阿静, 等. 生物质炭输入对盐胁迫下玉米幼苗生长和光合生理特征的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(4): 182-188.
- [9] 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.
- [10] 周兴, 廖育林, 鲁艳红, 等. 肥料减施条件下水稻土壤有机碳组分对紫云英—稻草协同利用的响应[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 283-290.
- [11] Patterson B D, Macrae E A, Ferguson I B. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium(IV)[J]. Analytical Biochemistry, 1984, 139(2): 487-492.
- [12] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 39-41.
- [13] 李阳, 黄梅, 沈飞, 等. 生物炭对小麦种子萌发与幼苗生长的植物毒理效应[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(1): 234-242.
- [14] Chintala R, Schumacher T E, McDonald L M, et al. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures [J]. Clean-Soil, Air, Water, 2014, 42(5): 626-634.
- [15] Lehmann J, Silva J P D, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. Plant and Soil, 2003, 249(2): 343-357.
- [16] 周桂玉, 窦森, 刘世杰. 生物质炭结构性质及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 2075-2080.
- [17] 曾爱. 生物炭对壤土土壤理化性质及小麦生长的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [18] 宋大利, 习向银, 黄绍敏, 等. 秸秆生物炭配施氮肥对潮土土壤碳氮含量及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 369-379.