

# 不同改良剂对滨海重度盐渍土质量和肥料利用效率的影响<sup>①</sup>

高婧<sup>1,2</sup>, 杨劲松<sup>1\*</sup>, 姚荣江<sup>1</sup>, 谢文萍<sup>1</sup>, 王相平<sup>1</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为揭示不同改良剂对江苏滨海围垦滩涂区重度盐渍土改良与肥料利用的效应, 通过田间试验研究生物质炭、石膏、EM 菌剂和黄腐酸 4 种改良剂对土壤表层盐分的时序动态、大麦产量和肥料利用效率的影响。结果表明: 盐分对于作物生长和肥料利用具有明显的抑制作用, 各改良剂均有效提高了重度盐渍土土壤肥力与作物产量。其中, 低量生物质炭处理(10 t/hm<sup>2</sup>)和高量黄腐酸处理(3 t/hm<sup>2</sup>)整体效果较好。经低量生物质炭处理后, 土壤表层(0~20 cm)盐分相对于单施化肥处理降低 106%, 作物产量增加 79%, 氮肥利用率提高 99%; 高量黄腐酸处理较单施化肥处理土壤表层盐分降低 95%, 作物产量增加 68%, 氮肥利用率提高 93%。该结果表明适宜用量的生物质炭和黄腐酸均可用于滨海滩涂重度盐渍土的加速治理培育和肥料利用效率的提升。

**关键词:** 滨海盐渍土; 大麦; 土壤盐分; 肥料利用效率

中图分类号: S164.5+2 文献标识码: A

江苏滨海滩涂资源丰富, 拥有全国 1/4 以上的滩涂面积, 是重要的后备土地资源<sup>[1]</sup>。但从目前来看, 土壤结构差、高盐碱、养分低、地下水高矿化度和地表淡水资源缺乏等因素严重制约该地区土地生产发展, 因此采取合适的调控措施对该区域土地高效改良和农业发展具有重要现实意义<sup>[2-3]</sup>。

大量研究表明, 施用土壤改良剂是治理江苏滨海盐渍土较有效的方法。我国最初发现石膏可以改良盐渍土是在 19 世纪 70 年代, 其含有的钙、硫元素可以作为肥料元素施入达到改良土壤的目的, 后来发现石膏中的 Ca<sup>2+</sup> 能够置换盐渍土中的 Na<sup>+</sup>, 减轻土壤 Na<sup>+</sup> 毒害, 改善土壤理化性质, 增加作物出苗率和产量<sup>[4-6]</sup>。随后研究学者发现腐殖酸类肥料可以改良盐碱土, 腐殖酸是一种有机大分子两性物质, 其缓冲性能强, 通过其酸性基团中和盐碱土调节 pH、改善土壤结构, 可增强土壤保肥透水能力, 提高作物产量<sup>[7-10]</sup>。生物质炭和 EM 菌剂两种改良剂直到 21 世纪初才被研究学者应用, 研究发现生物质炭由于其表面巨大的多孔结构, 对养分有很强的吸附作用, 为微生物提供附着位点, 调控微生物的生长活动, 提高土壤肥力, 增强作物生长能力<sup>[11-14]</sup>。且到目前为止, 对于 EM 菌剂对

盐碱土的改良作用研究较少。

由于目前对盐渍土脱盐效果的研究大部分限于轻中度盐渍化土壤, 对于重度盐渍土改良效果和肥料利用效率相关研究较少, 而改良重度盐渍土对于缓解耕地矛盾也具有非常重要的意义<sup>[15]</sup>。本研究分析了不同改良剂对重度盐土区土壤改良效果以及大麦养分利用效率的影响, 旨在提高该地区作物产量, 实现新垦滩涂地的耕地化利用。试验选取了 4 种典型的盐渍土改良剂(生物质炭、石膏、EM 菌剂和黄腐酸), 探讨了不同改良剂对该区域土壤质量的提升能力及不同改良剂施入对作物肥料利用效率的影响, 为选取适合该区的土壤改良方案提供了合理化建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于江苏省盐城市东台市条子泥垦区, 地理位置 120°56'~120°57'E, 32°49'~32°50'N。研究区属暖温带向亚热带季风气候过渡区, 年平均蒸发量 1 417 mm, 年平均降水量 1 058.4 mm。试验区为新垦滩涂土壤, 为砂质土, 区域地下水位为 1.2 m, 地下水矿化度为 12 g/L。目前以玉米-大麦轮作为主,

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200303, 2016YFC0501309, 2016YFC0501201)、中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-112-03-02)、国家自然科学基金委员会-山东联合基金重点支持项目(U1806215)、江苏省重点研发计划(现代农业)重点项目(BE2015337, BE2017337)、中国科学院南京土壤研究所“一三五”计划和领域前沿项目(ISSASIP1633)资助。

\* 通讯作者(jsyang@issas.ac.cn)

作者简介: 高婧(1993—), 女, 江苏淮安人, 硕士研究生, 主要从事盐碱土资源利用和土壤修复研究。E-mail: jgao1993@163.com

本试验是新开垦滩涂土壤第一季种植作物。土壤基本理化性质列于表 1。试验期间氮、磷施肥分别是尿素

(含 N 460 g/kg)、磷酸一铵(含 P 440 g/kg, N 110 g/kg)。本试验土壤中富钾, 因此不需要施钾肥<sup>[16]</sup>。

表 1 供试土壤的基本理化性质(0~20 cm)  
Table 1 Basic physiochemical properties of tested topsoil (0~20 cm)

供试土壤	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	pH	盐分(g/kg)
滩涂砂质土	0.86	0.58	0.45	8.35	3.62	9.52	5.65

## 1.2 供试材料

试验所用 4 种材料(生物质炭、石膏、EM 菌剂和黄腐酸)均购置于专业生产厂家。试验栽种作物为大麦, 大麦生长季处于冬季积盐期。试验地点设置于新开垦滩涂地, 质地和盐分状况均一。

## 1.3 试验设计

本试验采用裂区完全随机方案设计, 主区因素为盐分, 副区因素为不同改良剂, 共设计 10 个处理:

不施肥处理, CK; 单施化肥处理, T0; 高量生物质炭处理 20 t/hm<sup>2</sup>, T11; 低量生物质炭处理 10 t/hm<sup>2</sup>, T12; 高量石膏处理 7.6 t/hm<sup>2</sup>, T21; 低量石膏处理 3.8 t/hm<sup>2</sup>, T22; EM 菌剂施入量 80 L/hm<sup>2</sup>+全化肥施入, T31; EM 菌剂施入量 80 L/hm<sup>2</sup>+一半有机肥(N 0.09 t/hm<sup>2</sup>)+一半化肥(N 0.09 t/hm<sup>2</sup>), T32; 高量黄腐酸处理 3 t/hm<sup>2</sup>, T41; 低量黄腐酸处理 1.5 t/hm<sup>2</sup>, T42。各处理重复 3 次, 大麦播种量为 0.18 t/hm<sup>2</sup>。另外分别设置 N<sub>0</sub>P(施磷不施氮)和 NP<sub>0</sub>(施氮不施磷)两个处理以进行肥料利用率的计算。施肥处理氮(N)、磷(P)肥根据调研获得的当地农民施肥习惯水平确定: 分别为 0.18、0.12 t/hm<sup>2</sup>。每个试验处理设置在 3 m × 4 m 的微区内, 各微区间隔 60 cm。大麦于 2016 年 11 月中旬播种, 2017 年 5 月底收获。

## 1.4 样品采集

在大麦不同生育期(苗期、拔节期、孕穗期、成熟期)取表层 0~20 cm 土壤样品, 用于电导率的测定。作物成熟时收获各微区所有植株测产, 同时保留籽粒和地上部植株测定全氮、全磷含量。

## 1.5 测定项目与计算方法

土壤盐分测定采用电导法(测定土水比 1:5 溶液电导率, 并根据文献[17]中该地区土壤全盐含量与电导率的换算关系计算土壤盐分含量); 土壤(过 100 目筛)有机质的测定采用重铬酸钾外加热法; 土壤碱解氮的测定采用碱解扩散法; 土壤有效磷测定采用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼蓝比色法; 土壤; 植株样全氮测定采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮-水杨酸钠法, 全磷测定采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮-钼蓝比色法。

计算方法:  $TS=2.47 \times EC+0.26$ , 式中: TS 为土壤含盐量(g/kg); EC 为电导率值(dS/cm)。土壤盐分含量的相对升高率(%)=[(种植后土壤盐分含量-种植前土壤盐分含量)/种植前土壤盐分含量]×100。作物氮(磷)素吸收量=籽粒产量×籽粒氮(磷)含量+秸秆产量×秸秆氮(磷)含量。肥料利用率(%)=[(施肥处理作物吸收养分量-不施肥处理作物吸收养分量)/施肥量]×100。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同改良剂对大麦生育期土壤表层盐分变化的影响

图 1 显示了土壤盐分随作物整个生育期变化的情况。在整个生育期内, 土壤盐分呈现出先降低后升高的趋势, 在拔节期土壤盐分达到最低, 到成熟期时土壤开始返盐, 该时期气温升高, 土壤蒸发严重, 土壤表层盐分持续升高。大麦生长初期土壤盐分较低, 可能与长时间降雨有关。

从收获后土壤表层盐分含量可知, 各改良剂处理土壤盐分含量较单施化肥处理(T0)均有所降低, 说明所选取的改良剂能够有效地改良滨海盐渍土。高量生物质炭处理(T11)下, 土壤表层盐分相对于 T0 处理降低 53%, 低施入量条件下(T12)土壤表层盐分相对于 T0 处理降低 106%; 石膏处理下, 高施入量处理(T21)相对于 T0 处理土壤表层盐分降低 78%, 低施入量条件下(T22)土壤表层盐分相对于 T0 处理降低 32%; EM 菌剂全化肥处理(T31)与 T0 处理相比, 土壤表层盐分降低 53% 左右, 有机无机配施处理(T32)使表层盐分降低了约 42%; 黄腐酸高施入量条件下(T41)表层盐分较 T0 处理降低 96%, 低施入量处理(T42)表层盐分较 T0 处理降低 35%。对比可知, 生物质炭低施入量和黄腐酸高施入量处理降低土壤盐分效果较好。

### 2.2 不同改良剂对大麦产量的影响

由图 2 可知, 与不施肥(CK)相比, 施肥处理显著提高了大麦产量。4 种改良剂处理与单施化肥处理(T0)相比, 大麦的产量也均提高, 其中, 生物质炭的

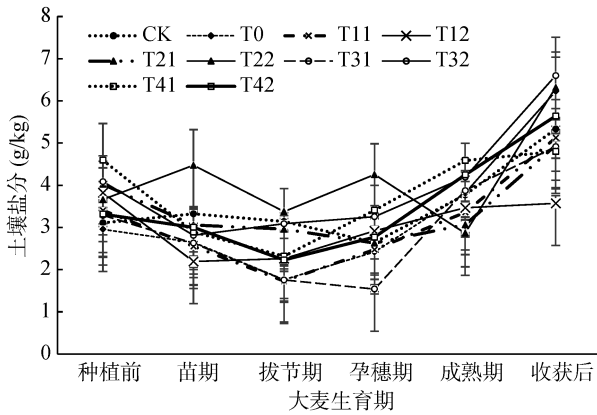


图 1 不同改良剂处理下土壤表层盐分变化  
Fig. 1 Dynamics of salt contents in topsoils under different treatments

施入使得作物的产量提高 60%~80% ;施用石膏使大麦的产量增加 30% 左右 ; 高量黄腐酸处理(T41)促进作物增产 70% 左右, 低量黄腐酸处理(T42)与 T0 相比无明显增加 ; 在 EM 菌剂处理条件下, 全化肥处理(T31)比有机无机配施处理(T32)效果更明显。土壤收获期盐分含量和作物产量的相关性分析(图 3)显示, 盐分含量与作物产量呈显著线性负相关关系, 土壤盐分限制了作物产量。

对比不同改良剂处理下大麦产量可知, 低量生物质炭处理(T12)对大麦的产量提高最多, 其次是高量黄腐酸处理(T41)。这是由于生物质炭疏松多孔的性质, 通过淋洗, 使土壤中的盐分降低, 同时生物质炭具有发达的孔隙能增强养分元素的吸附能力, 保水保肥, 提高大麦的生长能力<sup>[18]</sup>。黄腐酸可以通过酸碱中和反应降低土壤盐分和交换性 Na<sup>+</sup>, 从而改善土壤性状, 提高土壤的保水保肥能力<sup>[19]</sup>。两者的施入均有效降低土壤盐分改善作物生长环境, 提高作物产量。

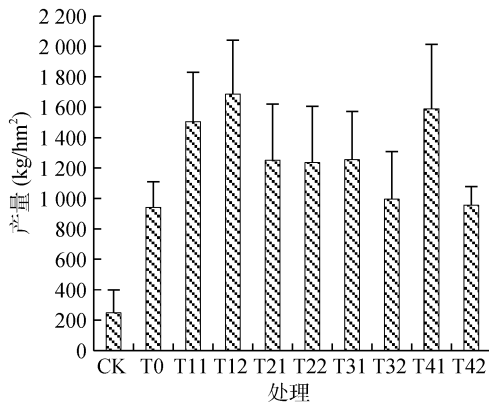


图 2 收获期大麦产量  
Fig. 2 Barley yields in harvest period

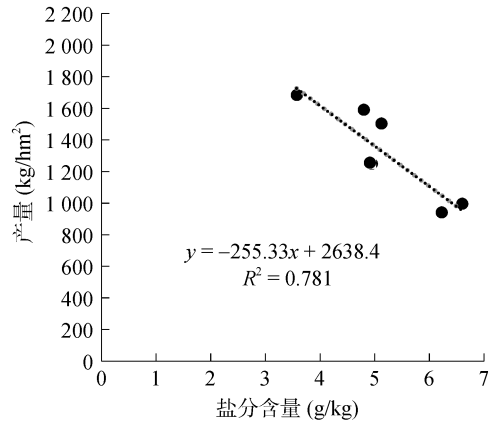


图 3 土壤盐分和作物产量的相关关系  
Fig. 3 Correlation between barley yield and soil salinity

### 2.3 不同改良剂对大麦肥料利用效率的影响

从表 2 可以看出, 生物质炭、石膏、EM 菌剂和黄腐酸这 4 种改良剂处理下的植株吸氮量均高于单施化肥处理(T0)。与 T0 处理相比, 低量生物质炭处理(T12)以及高量黄腐酸处理(T41)吸收氮量分别提高 69% 和 65%, 低量石膏处理(T22)和 EM 菌剂全化肥处理(T31)吸收氮量分别提高 48% 和 44%, 而 EM 菌剂有机无机配施处理(T32)相比 T0 处理无显著差异。生物质炭的添加显著提高了作物磷的吸收。

与 T0 处理相比, 生物质炭施用的两个处理和高量黄腐酸处理大麦氮肥利用率分别增加了 68%、99%、93% ; 施用石膏的两个处理和 EM 菌剂全化肥处理大麦氮肥利用率均提高 40% 左右 ; 而 EM 菌剂有机无机配施处理(T32)氮肥利用率变化不明显, 可见生物质炭和黄腐酸处理对土壤肥力的增效作用明显强于石膏以及 EM 菌剂处理。从磷肥利用率来看, 生物质炭施用下作物的磷肥利用率最高, 其他处理之间没有明显差异。

## 3 讨论

### 3.1 不同改良剂对大麦生育期土壤表层盐分变化的影响

土壤表层盐分在大麦生长阶段内先降低后升高, 这是由于冬季滨海区降雨较多, 气候湿润, 土壤表层盐分遭到淋洗, 同时冬季气温较低, 土壤蒸发缓慢, 土壤返盐速率低 ; 而春季后, 气温升高, 太阳辐射增强, 降雨减少, 土壤蒸发严重, 返盐加快, 土壤表层盐分逐渐升高<sup>[20]</sup>。

各改良剂处理下的土壤表层盐分均有不同程度的下降。由于生物质炭本身多孔结构的性质, 能

表 2 不同改良剂对养分利用效率的影响  
Table 2 Effects of different treatments on nutrient use efficiency

处理	作物吸氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	作物吸磷量(kg/hm <sup>2</sup> )	氮肥利用效率(%)	磷肥利用效率(%)
T0	21.66 ± 0.693 e	5.69 ± 0.34 b	6.63 ± 0.31 e	5.12 ± 0.38 b
T11	31.87 ± 1.89 bc	8.69 ± 0.98 a	11.17 ± 0.84 bc	7.24 ± 1.09 a
T12	36.41 ± 2.42 a	9.03 ± 2.17 a	13.19 ± 1.07 a	8.84 ± 2.41 a
T21	29.16 ± 2.21 c	5.39 ± 0.81 b	9.97 ± 0.98 c	4.68 ± 0.89 b
T22	27.84 ± 2.47 cd	6.69 ± 0.57 b	9.38 ± 1.09 cd	4.79 ± 0.64 b
T31	31.02 ± 1.67 bc	5.39 ± 0.3 b	10.80 ± 0.74 bc	6.40 ± 0.33 b
T32	20.34 ± 2.10 e	5.29 ± 1.6 b	6.04 ± 0.93 e	5.99 ± 1.78 b
T41	35.53 ± 1.99 ab	6.84 ± 0.86 b	12.79 ± 0.88 ab	4.77 ± 0.96 b
T42	23.80 ± 5.57 de	5.29 ± 0.33 b	7.58 ± 2.48 de	5.19 ± 0.37 b

注：表中数据为平均值±标准差；同列数据后不同小写字母表示不同处理在  $P < 0.05$  水平差异显著。

够抑制土壤返盐过程，减少养分的流失，降低土壤盐分<sup>[21]</sup>。在 10 t/hm<sup>2</sup> 处理量下，土壤表层盐分降低 106%，与孙运朋等<sup>[20]</sup>9 t/hm<sup>2</sup> 处理量下盐分降低 80% 左右效果类似，而在高处理量下(20 t/hm<sup>2</sup>)降盐效果却下降，这是由于生物质炭中存在一定的盐分，当施入量过大时，增加了土壤中盐分离子的含量<sup>[22]</sup>。石膏处理下，石膏中的 Ca<sup>2+</sup> 能够置换出土壤胶体中吸附的 Na<sup>+</sup> 以促进排盐，改善土壤团粒结构，降低土壤盐分<sup>[23-24]</sup>。比较石膏不同施入量对降盐的效果可知，高施入量比低施入量降盐效果更好，这与 Kaniz 和 Rashid Khan<sup>[25]</sup>的研究结果一致。EM 菌剂是一种混合菌种群，它在土壤中极易生存繁殖，能够增强微生物活性，改善滨海盐渍土的板结现象，增强土壤排盐的能力，降低研究区土壤表层盐分<sup>[26]</sup>。黄腐酸是一种有机无机复合体的有机胶体物质，它的施入使得研究区土壤理化性质得到改善，增强了土壤透水保水性<sup>[27-28]</sup>。本研究中，经高量黄腐酸(3 t/hm<sup>2</sup>)处理土壤盐分降低 96%，与王晓洋等<sup>[29]</sup>的研究中黄腐酸施用量(0.3 t/hm<sup>2</sup>)降低 30% 效果相近。对比几种改良剂对土壤降盐效果，以低量生物质炭处理和高量黄腐酸处理效果最佳。

### 3.2 不同改良剂对大麦产量的影响

通过图 2、图 3，比较不施肥处理(CK)和单施化肥处理(T0)的大麦产量，可以发现盐分和养分均限制作物的生长。不施肥状况下，作物几乎没有产量。低量生物质炭和高量黄腐酸处理下产量最好，同时这两个处理也能显著降低土壤盐分。EM 菌剂处理相比于 T0 处理，产量有一定的增加，这与陈胜利等<sup>[30]</sup>的研究结果一致，但是在有机无机肥共施的处理下效果不显著，这是由于有机肥属于缓效氮肥，短期内不易被作物吸收利用，造成作物生长的所需氮源减少，这与

娄庭等<sup>[31]</sup>的研究结果一致。

### 3.3 不同改良剂对大麦肥料利用效率的影响

由表 2 可知，改良剂的添加增强了作物的生长能力，使作物吸收氮磷量显著提高。生物质炭、石膏、EM 菌剂、黄腐酸这 4 种改良剂均能使肥料利用效率提高 40% 以上，一般来说，我国正常土壤作物的氮肥利用率在 35% 左右，磷肥利用率在 15% ~ 20%<sup>[32-33]</sup>。

对于生物质炭，专家学者对其提高肥料利用率的作用意见不一。有研究表明，施用量、土壤质地的差异均影响其对肥料利用率的提高作用。Rajkovich 等<sup>[34]</sup>研究在温带淋溶土按 7 个比例添加不同用量的生物质炭，发现 2% 的生物质炭处理可以提高玉米吸氮量 15%，7% 的生物质炭处理降低玉米吸氮量 16%。本研究中施用 1% 的生物质炭可以提高大麦吸氮量 68%，施用 2% 的生物质炭提高作物吸氮量效果开始下降，只提高 47%，高施入量的生物质炭反而加重了本研究区的盐化程度，因此对于盐化土壤，不宜施用过多生物质炭。Zwieten 等<sup>[35]</sup>在 2 种不同土壤类型 (pH 4.2 铁铝土和 pH 7.7 钙质土壤) 添加生物质炭的结果表明，生物质炭的施用提高了铁铝土壤中的氮肥利用率，而对钙质土壤中的氮肥利用率无显著提升。滨海盐碱土由于其土壤结构差、养分含量低等特点，施用适当生物质炭可以显著提高作物肥料利用率<sup>[36-37]</sup>。梁华成和李焕珍<sup>[38]</sup>研究了磷石膏与氮肥混合施用对北方地区轻度碱化草甸土氮素利用的影响，发现磷石膏与氮肥的混合施用可以减少氨的挥发，水稻氮素利用率可达到 50% 左右。Murtaza 等<sup>[39]</sup>通过 2 年的试验得出，在盐碱土上施用石膏需要量的 50% 可以增加作物产量和提高氮肥利用率，与正常土壤相比，石膏的施入可以明显降低黏壤盐碱土与正常土壤的差

异。本试验中,各处理氮肥利用率均只达到 10% 左右,这是因为本试验土壤是重度盐渍土,土壤盐分均超过 3 g/kg,盐害较重,极大地限制了作物的生长和对养分的吸收利用。目前,腐殖酸类物质可以通过营养来促进微生物的生长,间接促进作物生长,加强对养分吸收,各类研究结果还是较为一致的<sup>[40-44]</sup>。

4 个处理中,低量生物质炭处理和高量黄腐酸处理下大麦吸收氮量和对氮肥的利用率提高最多,相比单施化肥处理(T0),氮肥利用率分别增加了 99%、93%,这与两处理对土壤盐分和大麦产量的影响相对应。各改良剂处理(除生物质炭外)与 T0 处理相比,在磷吸收利用方面虽有提高但无显著差异,而生物质炭处理对磷肥的利用效率提高显著,这是由于生物质炭生产过程中残留大量的无机磷,提高了土壤中有效磷含量,生物质炭与土粒团聚提高了土壤持水性能,提高了土壤水势,有效促进作物对磷的吸收,从而提高磷肥利用率<sup>[45-46]</sup>。对比几种改良剂对作物养分利用效率提升的效果,以低量生物质炭处理和高量黄腐酸处理效果较好。

#### 4 结论

通过对江苏滨海重度盐渍围垦区进行试验,改良剂的施入能有效提高肥料利用效率,加速土体排盐,增强滨海重度盐渍土上大麦的生长能力。从几组对比试验可以看出,10 个处理下,低量生物质炭处理(10 t/hm<sup>2</sup>)和高量黄腐酸处理(3 t/hm<sup>2</sup>)为滨海滩涂重盐渍土土壤盐分 and 养分的最优调控,土壤表层盐分(0~20 cm)相对于 T0 处理分别降低 106%、95%;氮肥利用率相比 T0 处理分别增加了 99%、93%,显著优于其他几种改良剂。因此在重度盐碱土区域上,生物质炭和黄腐酸具有很广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 侯晓静,杨劲松,王相平,等.不同改良剂对滨海盐渍区土壤有机碳及土壤肥力的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(10):92-95
- [2] 姚荣江,杨劲松,曲长凤,等.海涂围垦区土壤质量综合评价的指标体系研究[J].土壤,2013,45(1):159-165
- [3] 米迎宾,杨劲松,姚荣江,等.不同措施对滨海盐渍土壤呼吸、电导率和有机碳的影响[J].土壤学报,2016,53(3):612-620
- [4] 江苏省农科所土肥组.石膏在农业生产上的用途[J].江苏农业科技,1973(2):27
- [5] 江苏盐城地区新洋农业试验站蹲点组.江苏东台县三仓公社新五大队.盐碱土种稻回旱田施用石膏的效果[J].土壤肥料,1974(2):11-12
- [6] 邵玉翠,任顺荣,杨军,等.有机无机-土壤改良剂对咸灌土壤理化环境调控及玉米产量影响[J].中国农学通报,2012,28(18):111-116
- [7] 新疆生物土壤研究所,新疆米泉县井冈山公社春光大队.腐殖酸铵在碱化土壤上的肥效[J].土壤,1975,7(3):128-129
- [8] 西藏自治区农科所土肥组.青稞施用腐殖酸类肥料的试验简报[J].西藏农业科技,1977(4):30-33
- [9] 杨裕林,徐文富,尹达龙,等.腐殖酸钙改良苏打盐碱土[J].农业科技通讯,1978(12):23
- [10] 南江宽,陈效民,王晓洋,等.不同改良剂对滨海盐渍土盐碱指标及作物产量的影响研究[J].土壤,2013,45(6):1108-1112
- [11] 陈红霞,杜章留,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
- [12] 刘杨,刘晓宇,石春林,等.生物炭缓解稻麦轮作区小麦渍害胁迫的作用[J].土壤学报,2017,54(6):1518-1526
- [13] Sun, Junna, et al. Effects of biochar application on Suaeda salsa, growth and saline soil properties[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(630):1-6
- [14] 郭彦蓉,曾辉,刘阳生,等.生物质炭修复有机物污染土壤的研究进展[J].土壤,2015,47(1):8-13
- [15] 陈子锐,王景宏,何高斌.苏北滨海盐渍土的分布及演变[J].土壤,1986,18(4):208-210
- [16] 陈学根,施志达,李建龙,等.滨海盐渍土有效钾含量及其影响因子[J].土壤,1992,24(4):207-209
- [17] 张建兵,杨劲松,姚荣江,等.苏北典型新围垦海涂农田盐碱障碍因子特征分析[J].土壤,2013,45(3):548-553
- [18] 唐珺瑶,赵永杰,曲东,等.生物炭对减弱土壤盐渍化的贡献及其机理探讨[J].西北农业学报,2017,26(2):294-303
- [19] 杨宇,金强,卢国政,等.生化黄腐酸土壤改良剂对菜田盐碱土壤理化性质的影响[J].北方园艺,2010(5):45-46
- [20] 孙运朋,杨劲松,姚荣江,等.生物炭和无机肥对盐碱滩涂围垦农田土壤性状的影响[J].土壤通报,2017,48(2):454-459
- [21] 姜井军,郭瑞,陈伶俐.生物炭对酸性土和盐碱土改良效果的研究进展[J].农业开发与装备,2014(11):30-32
- [22] 夏阳.生物炭对滨海盐碱植物生长及根际土壤环境的影响[D].青岛:中国海洋大学,2015
- [23] 程镜润,陈晓华,刘振洪,等.脱硫石膏改良滨海盐碱土的脱盐过程与效果实验研究.中国环境科学,2014,34(6):1505-1513
- [24] Choudhary O P, Josan A S, Bajwa M S, et al. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions[J]. Field Crops Research, 2004, 87(2): 103-116
- [25] Kaniz F, Rashid Khan M H. Reclamation of saline soil using gypsum, rice hull and saw dust in relation to rice production[J]. Journal of Advanced Scientific Research, 2013, 4(3): 1-5

- [26] 周晓芬, 杨军芳. 不同施肥措施及 EM 菌剂对大棚黄瓜连作障碍的防治效果[J]. 河北农业科学, 2004, 8(4): 89–92
- [27] 岳殷萍, 李虹谕, 张伟华. 脱硫石膏与腐殖酸改良盐碱土的效果研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2016(14): 85–87, 89
- [28] 杨宇, 金强, 卢国政, 等. 生化黄腐酸土壤改良剂对盐碱菜田土壤改良效果研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(04):1931–1932
- [29] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 261–264
- [30] 陈胜利, 孙庆余, 李云波. EM 菌剂在种植业上的应用与促增效应[J]. 微生物学杂志, 2002(1): 63–64
- [31] 娄庭, 龙怀玉, 杨丽娟, 等. 在过量施氮农田中减氮和有机无机配施对土壤质量及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(2): 11–15,34
- [32] 赵秉强, 梅旭荣. 对我国土壤肥料若干重大问题的探讨[J]. 科技导报, 2007(8): 65–70
- [33] 张玉树, 丁洪, 卢春生, 等. 控释肥料对花生产量、品质以及养分利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 700–706
- [34] Rajkovich S, Enders A, Hanley K, et al. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2012, 48(3): 271–284
- [35] Zwieten L V, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant & Soil*, 2010, 327(1/2): 235–246
- [36] 张雪辰, 陈诚, 苏里坦, 等. 聚丙烯酰胺改良盐渍土壤的适宜用量研究[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1216–1220
- [37] Yang F, Xin-Qing L I, Xing Y, et al. Effect of biochar amendment on nitrogen leaching in saline soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(5): 972–977
- [38] 梁成华, 李焕珍. 磷石膏与氮肥混合施用对氨挥发和氮素利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 1998(5): 38–41
- [39] Murtaza B, Murtaza G, Sabir M, et al. Amelioration of saline-sodic soil with gypsum can increase yield and nitrogen use efficiency in rice-wheat cropping system[J]. *Archives of Agronomy & Soil Science*, 2016, 63(9):1267–1280
- [40] 张水勤, 袁亮, 林治安, 等. 腐植酸促进植物生长的机理研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2017(4): 1065–1076
- [41] Nardi S, Sessi E, Pizzeghello D, et al. Biological activity of soil organic matter mobilized by root exudates[J]. *Chemosphere*, 2002, 46(7):1075–1081
- [42] 裴瑞杰, 袁天佑, 王俊忠, 等. 施用腐殖酸对夏玉米产量和氮效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2189–2198
- [43] 庄振东, 李絮花, 张健, 等. 冬小麦-夏玉米轮作制度下腐植酸氮肥去向与平衡[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 201–206
- [44] 马献发, 李世龙, 于志民, 等. 腐植酸类物质对大庆盐碱土地地区草场改良效果的研究[J]. 腐植酸, 2004(3): 26–29
- [45] 刘玉学, 唐旭, 杨生茂, 等. 生物炭对土壤磷素转化的影响及其机理研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6):1690–1695
- [46] Zhai L, Caiji Z, Liu J, et al. Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2015, 51(1): 113–122

## Effects of Different Soil Amendments on Properties and Fertilizer Utilization Efficiency for Coastal Heavily-salinized Soil

GAO Jing<sup>1,2</sup>, YANG Jinsong<sup>1\*</sup>, YAO Rongjiang<sup>1</sup>, XIE Wenping<sup>1</sup>, WANG Xiangping<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the effects of charcoal, gypsum, fulvic acid and effective microorganisms on topsoil salinity of heavily-salinized soil, fertilizer utilization efficiency and barley yield in coastal reclamation area of Jiangsu Province. Results were showed that salt content greatly threatened the growth and nutrient utilization efficiency of barley. The four modifiers improved effectively the quality of the heavy salinized soil and the yield of barley, and among of four amendment treatments, the biochar treatment of low dosage (10 t/hm<sup>2</sup>) and fulvic acid treatment of high dosage (3 t/hm<sup>2</sup>) had the better effects. The treatment of low dosage of biochar decreased salt content in 0–20 cm depth by 106%, increased barley yield by 79% and nitrogen utilization efficiency by 99%; The treatment of high dosage of fulvic acid decreased salt content in 0–20 cm depth by 95%, increased barley yield by 68% and nitrogen utilization efficiency by 93%. The above results prove that suitable dosage of biochar and fulvic acid can accelerate the cultivation and fertilizer utilization efficiency of the coastal heavily-salinized soil.

**Key words:** Coastal heavily-salinized soil; Barley; Soil salinity; Fertilizer utilization efficiency