

## 添加生物炭对降低冬小麦幼苗盐害并促进其生长的效果研究

校康<sup>1</sup>, 孙亚乔<sup>1\*</sup>, 马卫国<sup>2</sup>

(1. 长安大学环境科学与工程学院 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710000;

2. 蒲城县第三高级中学, 陕西 渭南 715505)

**摘要:**黄河三角洲盐碱农田具有“盐、板、瘦”的特点,以NaCl为主要成分的盐渍危害直接影响着滨海土壤质量。生物炭添加可改善土壤性质,促进作物生长。**【目的】**明晰炭添加对盐渍土盐离子和冬小麦幼苗生长的影响。**【方法】**研究依托田间试验探究了低剂量(0~4 g/kg)的芦苇炭添加对盐渍土盐离子、麦苗体内钾钠比、钾素利用率及幼苗生物量的影响。**【结果】**施用生物炭可降低土壤溶液中的盐离子、增加冬小麦幼苗体内钾钠比和麦苗钾素利用率,有助于提升幼苗生物量;以4 g/kg炭添加量下的降盐、增量效果最为明显。土壤溶液中的Na<sup>+</sup>较CK降低了9.43%,幼苗K/Na和钾素利用率分别提升了56.80%和25.48%,麦苗生物量增加了15.72%。**【结论】**炭添加可通过固持土壤溶液中的Na<sup>+</sup>、提升麦苗K/Na和钾素利用率来促进其生物量的增加。研究可为生物炭用于盐渍土改良的降盐培肥和增效增产的过程机理提供理论依据,为生物炭用于盐渍化土壤改良的可行性提供初步指导。

**关键词:**离子固持率; 钾钠比; 钾素利用率; 麦苗生物量; 芦苇炭

中图分类号:S512.1<sup>1</sup>

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20190200

校康,孙亚乔,马卫国. 添加生物炭对降低冬小麦幼苗盐害并促进其生长的效果研究[J]. 灌溉排水学报,2019,38(11):22-27.

### 0 引言

黄河三角洲是由黄河携带泥沙在入海口淤积而成的新生陆地,是我国三大河口三角洲之一<sup>[1-2]</sup>。该区地下水埋深较浅、矿化度高,受区域地形影响,盐水不便排出<sup>[3-4]</sup>;而沉积土壤又以砂土为主,强烈的毛管作用使得地下水的盐分表聚明显。其中,以NaCl为主要成分的盐渍危害,严重限制当地农业经济收益和可持续发展<sup>[5-7]</sup>。一般认为,有机质量低是制约盐渍土生产力的主要原因之一,可通过添加外源有机质(如秸秆、腐殖酸、生物炭等)来改良盐碱地<sup>[8-9]</sup>。近年来,被誉为“黑色黄金”的生物炭,已成为护理土壤健康的优良材料。其是由生物质在缺氧条件下经高温热裂解生成的孔状物质,具有比表面积大、含氧活性基团多和营养元素丰富等特性<sup>[10]</sup>;可用于改善土壤、提升肥力<sup>[11]</sup>,也可用于增加土壤碳汇、减少N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>等温室气体的排放<sup>[12-13]</sup>。

目前,关于生物炭添加对盐渍土改良的报道较少,且多集中在室内试验或盆栽试验阶段。较为一致的结论有:生物炭添加对土壤物理性质(如土壤水分、体积质量、团聚体)影响较大<sup>[14]</sup>,而对土壤pH、全盐量的影响较小<sup>[15]</sup>。生物炭添加后主要是通过离子交换和络合反应来降低土壤盐分危害<sup>[16-17]</sup>。在黄河三角洲滨海盐渍土区,以NaCl为主要成分的盐渍危害对土壤质量和作物生长极为不利,尤其在冬小麦生长的积盐和返盐期。当前,立足田间试验来探究添加生物炭对该阶段土壤盐离子和作物生长的影响很少报道,而这一作用过程对于明晰生物炭影响冬小麦幼苗生长、乃至后期的灌浆、结实过程都尤为重要。

为此,选取黄河三角洲滨海盐渍土,通过添加芦苇炭,比较分析了低剂量芦苇炭施用对盐渍土盐分离

收稿日期:2019-05-02

基金项目:国家自然科学基金项目(41877190)

作者简介:校康(1995-),女,陕西渭南人。硕士研究生,主要从事土壤改良相关研究。E-mail: kxiaocau@163.com

通信作者:孙亚乔(1977-),女,浙江绍兴人。副教授,主要从事水文地球化学和生态环境保护研究。E-mail: sunyaoqiao@126.com

子、作物体内 K/Na、植株钾素利用率及麦苗生物量的影响。旨在从炭品固钠、作物泌钠汲钾过程揭示生物炭促麦苗生长的作用机理,为生物炭用于盐渍土改良提供一定理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

研究区位于神仙沟流域,地处东营市河口区,其地理位置为北纬 37°56'42"—37°56'59",东经 118°41'03"—118°41'41"。该地区属暖温带大陆性季风气候,冬寒夏热,四季分明,年平均气温 12.3 °C,年平均降水量 692 mm,且降雨多集中在夏季<sup>[18]</sup>。该区地势南高北低,西高东低。由于长期受海水浸渍,该区域土壤以盐化潮土和滨海盐土为主,深层土壤较浅层土壤含盐量高,且基本盐分组成为钠型氯化物,该区域地下水矿化度 10~40 g/L,高达 200 g/L<sup>[19-20]</sup>。本试验地块位于黄河三角洲综合训练基地农业用地开发利用试验场,试验地块内布设有试验小区,小区规格为 2 m × 10 m,各小区随机排列,共计 16 个试验小区。于 2017 年 9 月秋收时按 S 形线路在试验小区采集耕层(0~20 cm)土壤,带回实验室经处理后进行土壤基本性质测定,测定土壤 pH 值为 8.15,全盐量为 2.80%,有机质量为 6.30 g/kg,Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>量分别为 12.33、3.26、8.43、3.47、13.33、2.42 mmol/kg。试验所需的生物炭为田间制备的芦苇炭<sup>[21-22]</sup>,其基本离子量如表 1 所示。

表 1 芦苇炭离子量

供试材料	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
芦苇炭	364.73	407.58	259.16	57.44	299.46	42.63

试验设 CK(对照,不添加生物炭)、T1(1 g/kg 炭添加量)、T2(2 g/kg 炭添加量)和 T3(4 g/kg 炭添加量)处理,每个处理设 4 个重复,炭添加剂量以 0~20 cm 土层风干土混合生物炭(粒径≤1 mm)计。

### 1.2 试验方法

试验小区冬小麦播种时间为 2017 年 10 月 15 日,供试冬小麦品种为济麦 22,种子百粒质量为 4.70 g,播种量 188 kg/hm<sup>2</sup>,犁沟间距 15 cm,播种采用旋耕松土(2 次,20 cm/次,旋耕过程中可将土壤与生物炭充分混匀)、犁沟下播的方式进行。冬小麦苗期采样在 2018 年 3 月 12 日进行。麦苗生物量采用刈割-质量法获取,具体操作为,2018 年 3 月,采用 1 m × 1 m 样方结合五点采样法在试验小区采集冬小麦的地上部分样品,每个小区共计 5 个样点,样品采集完成后,置于纸质信封袋中保存。105 °C 杀青 15 min 后 85 °C 烘干 4 h,称质量,算数平均后换算为单个小区麦苗生物量。之后,采用粉碎机粉碎后过 100 目筛保存。幼苗采集结束后,同时在各样方采集 0~20 cm 土层土壤,取 5 个样方混合土样,作为各处理土壤样品。

①土壤的 pH 值用 pH 计(FiveEasy Plus, METTLER TOLEDO)测定,土壤浸提液的土水比为 1:5;②土壤或生物炭的阳离子(Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>)和阴离子(Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)使用离子色谱进行测定(ICS3000, Dionex),土壤浸提液的土水比为 1:5;③植物样品经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消解后,采用 ICP-MS(PerkinElmer (Hong Kong) Ltd)测定植物体内全钾量、全钠量。试验所涉及的计算公式如下:

离子固持率(Immobilization rate, IR),用以指示炭-土混合体系对土壤溶液中离子的交换、吸附或络合的能力,其计算式为:

$$IR (\%) = \frac{(n_b + n_s) - n_{bs}}{n_b + n_s} \times 100 \quad (1)$$

式中:IR 为离子固持率(%);n<sub>b</sub> 为生物炭所含离子总的物质的量(mmol);n<sub>s</sub> 为盐渍土所含离子总的物质的量(mmol);n<sub>bs</sub> 为炭-土混合体系中所含离子总的物质的量(mmol)。

植株钾素利用率(Potassium use efficiency, PUE),用于指示冬小麦吸收的钾素对于麦苗生物量的贡献率,其计算式为:

$$PUE = \frac{B}{C} \quad (2)$$

式中:PUE 为植株钾素利用率(kg/kg);B 为麦苗生物量(kg);C 为麦苗体内的全钾量(kg)。

研究采用 Excel 2013 进行基础数据处理与图件绘制,采用 SPSS 17.0 进行统计分析,对各处理间的数据作单因素方差分析(One-way ANOVA, Duncan 法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭促进土壤降盐的过程

自冬小麦种植至幼苗生长阶段,伴有较为强烈的表土积盐和返盐过程,而此过程又无灌溉措施压盐,直接威胁冬小麦幼苗生长。离子固持率的分析结果表明(表2),生物炭添加具有固持土壤溶液中阳离子,降低其量的作用。随生物炭用量的提高, $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 的固持率平均提高且各处理间差异显著;以 $\text{K}^+$ 的固持效果最为明显。土壤溶液中离子量的降低有助于缓解溶液渗透压,促进作物吸收水分和汲取养分。生物炭添加后土壤溶液中阳离子量的降低可能是由于生物炭具有较大的比表面积( $30 \text{ g/m}^2$ )和较多羧基( $1\ 009 \text{ mmol/kg}$ )、酚羟基( $450 \text{ mmol/kg}$ )含氧官能团<sup>[22]</sup>,可有效吸附 $\text{Na}^+$ 并释放 $\text{H}^+$ ;相反,生物炭添加后土壤溶液中阴离子出现较小幅的溶出,这可能与生物炭本身含有较多的 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ ,且阴离子交换能力弱有关<sup>[17]</sup>。

表2 添加生物炭影响下的离子固持率

处理	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	%
CK	-	-	-	-	-	-	
T1	1.77±0.03a	9.02±0.01a	1.73±0.01a	3.96±0.03	-0.35±0.03a	-1.62±0.00a	
T2	4.21±0.06b	19.19±0.02b	4.80±0.02b	7.00±0.03	-0.99±0.05b	-1.08±0.01b	
T3	9.43±0.06c	32.04±0.02c	5.04±0.01c	8.57±0.02	-2.45±0.02c	-4.12±0.01c	

注 各列不同小写字母表示差异达5%显著水平。

### 2.2 生物炭促进作物减害的过程

添加生物炭对冬小麦幼苗体内钾钠比的影响结果表明(图1),冬小麦幼苗体内的钾钠比呈随芦苇炭添加量增加而上升的规律,且各处理间差异显著。较CK而言,1、2、4 g/kg生物炭添加量下冬小麦幼苗体内的钾钠比分别增加了23.18%、45.15%和56.80%。这表明添加低剂量的生物炭便具有提升植株体内钾钠比的作用。钾钠比可用于反映作物吸收钾和钠的能力,钾钠比越高,说明作物吸收 $\text{K}^+$ 并挤脱 $\text{Na}^+$ 的能力越强。钾是植物生长所需的必须营养元素之一,而过量的钠则会引起植株细胞渗透压的增加,导致植物生理干旱,抑制其生长。可见,添加生物炭有助于吸钾泌钠,促进作物生长。添加生物炭可降低土壤溶液中 $\text{Na}^+$ ,提高土壤溶液中 $\text{K}^+$ 量<sup>[23-24]</sup>。

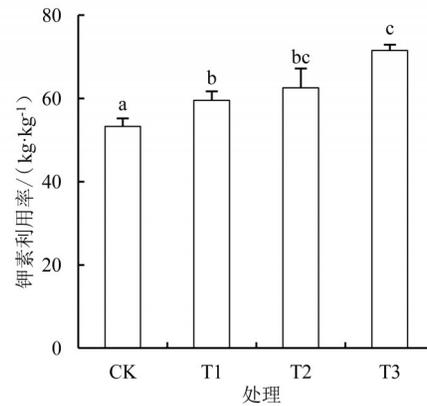
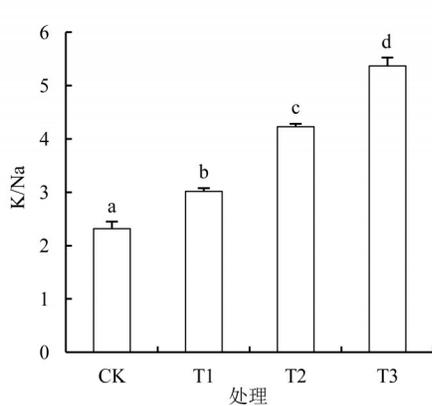


图1 添加生物炭对冬小麦幼苗体内钾钠比的影响

图2 添加生物炭对冬小麦幼苗钾素利用率的影响

### 2.3 生物炭促进作物增效的过程

图2反映了添加生物炭对冬小麦幼苗钾素利用率的影响。由图2可知,增加生物炭用量有助于提升冬小麦幼苗钾素利用率。如1、2、4 g/kg添加生物炭量下冬小麦幼苗钾素利用率较CK分别增加了10.50%、14.84%和25.48%,且各处理间有较大差异。植株钾素利用率反映了作物吸收的钾素对于冬小麦幼苗生物量的相对贡献率,施用生物炭有助于提升冬小麦幼苗钾素利用率,这有利于后期作物生长。植株钾素利用率的提升与炭添加后土壤固持并缓释 $\text{K}^+$ ,植株吸钾泌盐的过程密切相关。

### 2.4 冬小麦苗期生物量变化特征

添加生物炭(1、2、4 g/kg)可逐步提升冬小麦幼苗生物量,尤其是4 g/kg添加生物炭量下冬小麦幼苗生物量得到了有效提升,较CK高出15.72%,且作用效果尤为明显。苗壮则高产,幼苗生物量的提升将有助于后期冬小麦的生长和增产。冬小麦幼苗生物量的增加与添加生物炭下土壤盐分离子的降低、冬小麦幼苗体

内钾钠比的升高、植株钾素利用率的提升是相互联系的。土壤溶液中的盐分离子降低是基础,生物炭补充的丰沛的 $K^+$ 是关键,这些作用直接促进了幼苗钾钠比的升高和钾素利用效率的提升,促进了麦苗生物量的增加。

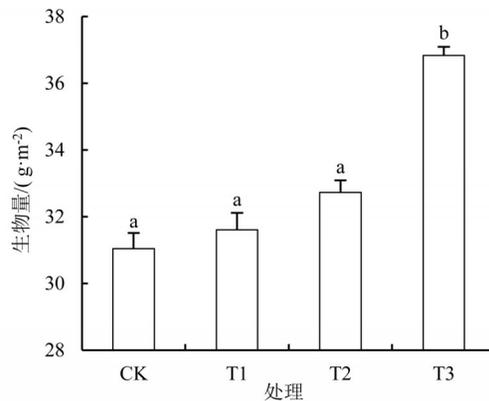


图3 添加生物炭对冬小麦幼苗生物量的影响

### 3 讨论

以降盐或增产为目的的水盐调控措施已有较多研究。但当前黄河三角洲地区面临着环境日趋干旱和淡水资源紧缺的现状,引水压盐措施将难以为继,盐分管理需要新的思路 and 理念<sup>[25]</sup>。

通过添加外源有机物可降低土壤含盐量、调节土壤溶液离子组成,有助于该地区盐碱农田改良。作为由黄河三角洲当地的生物质制成的富含碳素和充沛 $K^+$ 的生物炭,不失为增加土壤碳库和调节土壤溶液中盐分离子组成较为优选地绿色环境材料之一,有望为黄河三角洲盐渍土改良提供新的思路和技术选项。生物炭因具有疏松多孔的结构和比表面积大、阳离子交换能力强的特征,将其施加到盐碱农田,可改善土壤孔隙度、土壤抗氧化酶活性、土壤入渗性能、土壤含盐量和土壤溶液离子组成,进而提高作物产量<sup>[26-28]</sup>。如:岑睿等<sup>[29]</sup>发现施加生物炭(施加量 $30\ t/hm$ )到黏土后,耕作层土壤含水率、土壤累积入渗量分别增加了 $8.90\%$ 、 $45.45\%$ ;黄哲等<sup>[30]</sup>、王浩等<sup>[31]</sup>以及张圣也<sup>[32]</sup>发现生物炭添加可改善土壤抗氧化酶(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD))活性、控制土壤水分蒸发,提高土壤保水能力和水分有效性,且以低剂量添加对土壤水环境、土壤抗氧化酶活性的改善效果最为明显;朱成立等<sup>[33]</sup>发现生物炭能缓解微咸水灌溉条件下土壤盐分表聚现象,使叶片 $K/Na$ 比升高,缓解盐胁迫造成的离子毒害;冉成等<sup>[34]</sup>通过用生物炭处理水稻田,使水稻田年生物产量增加了 $50\%$ 左右。不难看出,添加生物炭在提高土壤保水能力、土壤含水率、土壤抗氧化酶活性等方面较有优势,可为作物生长与增产创造有利因素。

本研究主要针对冬小麦苗期(伴随着冬季隐蔽性积盐和春季返盐过程),选取富含 $K^+$ 的芦苇炭为原材料,通过添加低剂量的芦苇炭从离子层面探讨了其在调节土壤溶液离子组成及含量的作用。在此基础上,引入 $K/Na$ 和钾素利用率从降低植株盐分危害和提升钾素利用率的角度探讨了富钾生物炭在植株减害和养分增效方面的作用,并选取植株生物量为指示指标,验证了其作用效果。生物炭添加下土壤溶液离子量得以降低、幼苗体内钾钠比和钾素利用率明显提升,这助力了冬小麦幼苗生物量的增加,且生物炭量越高,改善效果越显著;以 $4\ g/kg$ 炭添加量最为优越。含盐量高导致植株钾素利用率低可能是限制盐渍土作物产量的又一因素,合理施用富钾生物炭可有效调节土壤溶液离子组成及含量,提升植株体内钾钠比和钾素利用率,从而提高盐渍土上的植株生物量。

### 4 结论

- 1)添加生物炭具有固持土壤溶液中阳离子,降低其离子量的作用。
- 2)添加生物炭具有提升麦苗体内钾钠比和钾素利用率的作用。
- 3)添加生物炭下土壤溶液离子量得以降低、幼苗体内钾钠比和钾素利用率明显提升,助力了冬小麦幼苗生物量的增加,其效果以 $4\ g/kg$ 炭添加量最为明显,较CK高出 $15.72\%$ 。

## 参考文献:

- [ 1 ] 李远. 黄河三角洲土壤及其红粘层的地球化学特征与环境意义[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016.
- [ 2 ] FANG H, LIU G, KEARNEY M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the yellow river delta, china[J]. *Environmental Management*, 2005, 35(1): 72-83.
- [ 3 ] 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 139-144.
- [ 4 ] ZHANG T, ZENG S, GAO Y, et al. Assessing impact of land uses on land salinization in the yellow river delta, china using an integrated and spatial statistical model[J]. *Land Use Policy*, 2011, 28(4): 857-866.
- [ 5 ] 马玉蕾, 王德, 刘俊民, 等. 黄河三角洲典型植被与地下水埋深和土壤盐分的关系[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2 423-2 430.
- [ 6 ] 骆永明. 中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J]. *中国科学院院刊*, 2016, 31(10): 1 133-1 142.
- [ 7 ] 王卓然, 赵庚星, 高明秀, 等. 黄河三角洲垦利县夏季土壤水盐空间变异及土壤盐分微域特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(4): 1 040-1 049.
- [ 8 ] NOVAK J M, BUSSCHER W J, WATTS D W, et al. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil[J]. *Soil Science*, 2009, 174(2): 105-112.
- [ 9 ] MAHMOODABADI M, YAZDANPANA N, SINOBAS, et al. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (i): redistribution of soluble cations within the soil profile[J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 120(3): 30-38.
- [10] ANTAL J J M, GRONLI M. The art, science, and technology of charcoal production[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2003, 42(8): 1 619-1 640.
- [11] LEHMANN J, RILLIG M C, THIES J, et al. Biochar effects on soil biota -a review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1 812-1 836.
- [12] SILVER S. Frontiers in ecology and the environment[J]. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 2008, 89(4): 310-313.
- [13] WU M, FENG Q, SUN X, et al. Rice (*Oryza sativa* L) plantation affects the stability of biochar in paddy soil[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 10 001.
- [14] HERATH HMSK, CAMPS-ARBESTAIN M, HEDLEY M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an alfisol and an andisol [J]. *Geoderma*, 2013, 209/210: 188-197.
- [15] VAN Z L, 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): 235-246.
- [16] VIJAYASATYAN, CHAGANTI, DAVID M. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 158(8): 255-265.
- [17] ULLAH S, DAHLAWI S, NAEEM A, et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: challenges and opportunities[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 625(6): 320-335.
- [18] 丁晨曦, 李永强, 董智, 等. 不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2013, 11(2): 84-89.
- [19] 孔祥斌, 张凤荣, 王茹, 等. 城乡交错带土地利用变化对土壤养分的影响: 以北京市大兴区为例[J]. *地理研究*, 2005, 24(2): 213-221.
- [20] 张玉斌, 吴发启, 曹宁, 等. 泥河沟流域不同土地利用土壤养分分析[J]. *水土保持通报*, 2005, 25(2): 23-26.
- [21] 袁国栋, 校亮. 一种可移动式田间原位耗氧制备生物质的设备与方法: CN108117876A[P]. 2018-06-05.
- [22] 校亮, 袁国栋, 毕冬雪, 等. 农林废弃物田间曝氧水-火联动制炭设备及技术研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(11):239-244.
- [23] CAKMAK I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants[C].*Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2005, 168 (4): 521-530.
- [24] CHAKRABORTY K, BHADURI D, MEENA H N, et al. External potassium (K<sup>+</sup>) application improves salinity tolerance by promoting Na<sup>+</sup>-exclusion, K<sup>-</sup>-accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2016, 103(6): 143-153.
- [25] JIANG Q, DENG X, ZHAN J, et al. Impacts of economic development on ecosystem risk in the Yellow River Delta[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, (5): 208-218.
- [26] LASHARI M S, YE Y, JI H, et al. Biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95(6): 1 321-1 327.
- [27] AKHTAR S S, ANDERSEN M N, LIU F. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 158(8): 61-68.
- [28] 田丹, 屈忠义, 李波, 等. 生物炭对砂土水力特征参数及持水特性影响试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2013, 32(3): 135-137.
- [29] 岑睿, 屈忠义, 孙贯芳, 等. 秸秆生物炭对黏壤土入渗规律的影响[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(6): 284-289.
- [30] 黄哲, 曲世华, 白岚, 等. 不同秸秆混合生物炭对盐碱土壤养分及酶活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(4): 290-295.
- [31] 王浩, 焦晓燕, 王劲松, 等. 生物炭对土壤水分特征及水胁迫条件下高粱生长的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(2): 253-257, 287.
- [32] 张圣也. 碱胁迫下生物炭对绿豆幼苗抗氧化酶和渗透调节的影响[A]. 2018 中国作物学会学术年会论文摘要集, 2018.
- [33] 朱成立, 吕雯, 黄明逸, 等. 生物炭对咸淡轮灌下盐渍土盐分分布和玉米生长的影响[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(1): 233-241.
- [34] 冉成, 邵玺文, 朱晶, 等. 生物炭对苏打盐碱稻田土壤养分及产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(5): 46-51.

# Effects of Biochar for Abating Salt Stress and Promoting Seeding Growth of Winter Wheat in a Saline Soil

XIAO Kang<sup>1</sup>, SUN Yaqiao<sup>1\*</sup>, MA Weiguo<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University,

Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education, Xi'an 710000, China;

2. Third Middle School of Pucheng, Weinan 715505, China)

**Abstract:** The surface soil of the Yellow River Delta is rich in salt, which makes the soil salinized, compact and barren. The salinization hazard with NaCl as the main component directly affects the quality of coastal soil. Adding biochar to saline-alkali farmland can improve soil properties and promote crop growth. **【Objective】**The purpose of this paper is to clarify the changes of soil salt ions and winter wheat seedling growth after adding biochar to saline soil. **【Method】**A field experiment was conducted to investigate the effects of low dose (0~4 g/kg) of Reed carbon on soil salt ions, potassium-sodium ratio in wheat seedlings, potassium utilization efficiency and seedling biomass. **【Result】**The application of biochar could reduce the salt ions in soil solution, increased the potassium-sodium ratio in the winter wheat seedlings and the potassium use efficiency of the wheat seedlings, and increased the seedling biomass of winter wheat; The salt reduction and the incremental effect under the addition of 4 g/kg biochar use was the most obvious. Compared with CK, the Na<sup>+</sup> in soil solution decreased by 9.43%, the K/Na and potassium use efficiency of seedlings increased by 56.80% and 25.48%, respectively, and the biomass of wheat seedling increased by 15.72%. **【Conclusion】** Biochar application can promote the increase of biomass by holding Na<sup>+</sup> in soil solution and increasing K/Na and potassium utilization of winter wheat seedlings. The research can provide a theoretical basis for the process mechanism of biochar for salt reduction and fertilization, increase efficiency and increase yield, and provide preliminary guidance for the feasibility of biochar for salinized soil improvement.

**Key words:** immobilization rate; K/Na; potassium use efficiency; biomass of wheat seedlings; reed biochar

责任编辑:白芳芳