

生物炭对苏打盐碱稻田土壤养分及产量的影响

冉成, 邵玺文, 朱晶, 张巳奇, 王晓炜, 王文龙,
李见博, 韩东, 刘旭, 耿艳秋, 郭丽颖, 刘丽新, 金峰*
(吉林农业大学农学院, 长春130118)

摘要:【目的】探明生物炭对苏打盐碱稻田土壤养分和水稻产量的影响。【方法】于2017—2018年在吉林省白城市舍力镇设置连续2 a的定位试验。以长白9水稻品种为供试材料,采用随机区组设计,设0 t/hm² (C0)、33.75 t/hm² (C1)、67.5 t/hm² (C2)、101.25 t/hm² (C3) 4个生物炭处理,分析了施用生物炭后苏打盐碱地稻田土壤养分、稻谷产量及其构成因子的变化。【结果】苏打盐碱稻田土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质的量均随着生物炭的增加而显著增加($P<0.05$),但显著降低了土壤碱解氮、铵态氮的量($P<0.05$)。施用生物炭显著提高了水稻生物产量和收获指数,生物炭处理(C1、C2、C3处理)水稻生物产量2个试验年度的均值平均增加48.35%、52.09%、57.47%,收获指数表现为C2处理>C1处理>C3处理>C0处理。添加生物炭显著提高了稻谷产量,其中穗数、千粒质量、结实率的增加是主要原因。【结论】施用生物炭可显著提高苏打盐碱稻田土壤养分,改善土壤养分状况,提高水稻产量。

关键词:生物炭; 苏打盐碱胁迫; 速效养分; 产量构成; 水稻

中图分类号:TS210.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180692

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.

0 引言

土壤盐碱化是影响干旱和半干旱地区农业生产和可持续性利用的主要障碍。松嫩平原西部是世界三大苏打盐碱地之一,也是我国苏打盐碱地主要集中区域^[1]。苏打盐碱对植物的抑制作用主要是通过离子毒害、渗透胁迫和高pH值胁迫所致^[2]。盐碱胁迫影响植物根系的生长,制约了植物对水和养分的吸收,阻碍了植物的生长发育^[3]。淹水有利于水稻的生长,也利于盐分的浸出;因此,种稻是改良和利用苏打盐碱地的重要途径^[4-5]。但是,随着自然环境条件变化和社会经济发展,苏打盐碱地区水资源短缺、土壤盐渍化、贫瘠化等问题日趋严重,严重威胁了水稻的生产,制约了苏打盐碱地的可持续发展。如何提高苏打盐碱土壤的地力及产量,是苏打盐碱地区生产上亟待解决的重要问题。

生物炭是在低氧或无氧的条件下,将秸秆、动物粪便等有机物经过高温热解形成的产物^[6]。生物炭本身具有大量的营养元素,能补充土壤矿物质养分,增加土壤有机质量^[3,7],同时有着较大的比表面积、较强的吸附能力,减少养分的淋失,增加了土壤养分量,促进植物生长^[8-9]。大量研究表明,施用生物炭可显著降低土壤体积质量,增加土壤孔隙度^[10];同时,可显著增加盐碱土各类营养元素^[11],优化根系形态和功能,促进作物生长发育,提高作物产量^[12]。盆栽条件下,施用生物炭可显著降低水稻各个器官中的Na⁺积累量,促进产量的形成,提升稻谷品质^[13]。

近年来,国内外学者就生物炭对稻田土壤养分量及水稻生长发育等效应研究有大量报道^[12-14]。添加生物炭可提高棕壤土、灌淤土、滩涂土、冷浸土等稻田土壤养分的量且利于水稻产量的增加^[12,14-16];也有研究表明,在盐土和碱性土壤条件下,施用生物炭提高了土壤养分量,有利于作物的生长发育^[7,17-18]。然而,有关生物炭对苏打盐碱胁迫大田条件下的土壤养分和水稻产量的研究较少。因此,研究生物炭对苏打盐碱稻田土壤养分和产量的影响,为改善苏打盐碱地土壤性质,增加稻谷产量提供一定理论依据。

收稿日期:2018-12-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300104,2017YFD0300609);吉林省重点科技攻关专项(2016020411NY);吉林省大学生创新创业训练计划及吉林农业大学大学生科技创新基金项目(2016250)

作者简介:冉成(1993-),男。硕士研究生,主要从事水稻优质高产高效理论与技术研究。E-mail: 17790063254@163.com

通信作者:金峰(1982-),男。副教授,硕士生导师,主要从事水稻优质高产高效理论与技术研究。E-mail: jinfeng911@126.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

2017—2018年在吉林省白城市舍力镇(45°33'N, 123°22'E)益新家庭农场进行大田试验,该地区属温带大陆性季风气候,年平均降雨量399.9 mm,年平均蒸发量1 840 mm,年均气温5.2℃,≥10℃活动积温平均为2 996.2℃,无霜期为144 d。供试土壤0~20 cm土层土壤pH值为10.1,电导率(EC_e)为24.08 dS/m,碱化度(ESP)为77.11%,含盐量为1.98%,土壤体积质量为1.61 g/cm³,全氮量为0.27 g/kg,碱解氮量为16.30 mg/kg,速效磷量为9.13 mg/kg,速效钾量为107.25 mg/kg,有机质量为0.64%,钠离子量为6.27 g/kg,钾离子量为1.40 g/kg,碳酸根离子量为0.22 g/kg,碳酸氢根离子量为1.65 g/kg,土壤类型为重度苏打盐碱土。

1.2 生物炭概况

生物炭由辽宁金和福农业开发有限公司生产提供。生物炭原材料为花生壳,在450~550℃的无氧条件下生产,热解时间为1 h。将热解后生物炭研磨过2 mm筛,使其均匀一致。花生壳炭的基本性质见表1。

表1 花生壳炭的基本性质

成分	pH值	元素质量分数/(mg·g ⁻¹)												
		C	N	S	Mg	K	Ca	Fe	Ba	Mn	Ni	Cu	Zn	B
花生壳	原材料	5.56	429.19	10.85	2.58	1.46	5.51	6.32	2.77	0.14	0.09	0.00	0.01	0.02
	生物炭	7.94	440.64	15.93	6.85	0.25	12.53	2.01	2.07	13.41	0.06	0.00	0.01	0.15

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,设4个生物炭水平,即:0、33.75、67.5、101.25 t/hm²,分别记为C0、C1、C2、C3,小区面积30 m²(长6 m×宽5 m),3次重复。

1.4 田间管理

供试水稻品种为长白9,插秧密度为30 cm×16.5 cm。2017年和2018年均是4月13日播种,2017年5月22日插秧,9月30日收获,2018年5月20日插秧,9月27日收获。整地完成后,田间控制水层2 cm左右,施入生物炭,人工用耙子充分搅拌,使其0~20 cm土层和生物炭均匀一致,自然情况下沉降5 d,放水洗田3次,洗田后施入基肥。其他管理同当地生产田。

大田施氮量为250 kg/hm²,按 $\omega(\text{基肥}):\omega(\text{蘖肥}):\omega(\text{穗肥})=6:3:1$ 的比例分批施肥,其中,基肥在移栽前3 d施入,分蘖肥在移栽后15 d施入,穗肥在倒3叶时施入;纯磷(P_2O_5)施用量为50 kg/hm²,作为基肥一次性施入;纯钾(K_2O)施用量为75 kg/hm²,分基肥和穗肥2次施入, $\omega(\text{基肥}):\omega(\text{穗肥})=6:4$ 。为了防止试验小区间渗水渗肥,小区间用田埂隔开,田埂宽50 cm,高30 cm。每个小区有着独立的排灌系统。

1.5 样品采集与测定

成熟期,按照五点取样法采集试验地0~20 cm土样,先将采集样品测定含水率,取部分鲜样测定铵态氮和硝态氮;然后将剩余样品自然风干,研磨过筛后用于土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷及速效钾的测定。土壤铵态氮和硝态氮采用1 mol/L KCl浸提法,通过AA3连续流动分析仪测定^[19];土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定^[20];土壤全氮采用凯氏定氮消化-蒸馏法测定^[21];土壤碱解氮量采用碱解扩散法测定^[20];土壤速效磷、速效钾采用文献[22]方法测定,速效磷采用0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提,钼锑抗试剂显色,紫外可见分光光度计于700 nm处比色测定,速效钾采用乙酸铵浸提,火焰光度法测定。

成熟期,每个区取2 m²样方用于测产,重复3次,植株晾干后用脱机脱粒,吹净空瘪粒后称质量,并测定含水率,转换为14%含水率相应的产量。每个小区取生长发育一致的10穴,晾干后计算生物产量,并进一步考种,测定穗数、穗粒数、千粒质量等指标。

1.6 数据分析

试验数据采用DPS 9.05软件随机区组单因素分析,并使用Duncan新复极差法分析不同处理间在 $P<0.05$ 的差异显著性。采用Microsoft Excel 2016软件对数据进行整理和绘制图表。

2 结果与分析

2.1 生物炭对苏打盐碱稻田土壤养分的影响

2.1.1 生物炭对苏打盐碱稻田土壤氮素的影响

生物炭对苏打盐碱稻田土壤氮素量具有显著影响(表2)。生物炭可显著增加土壤全氮量,并随着生物炭施用量的增加而增加。施用生物炭显著降低了苏打盐碱稻田土壤碱解氮和铵态氮的量,表现为C0处理>

C1处理>C2处理>C3处理,但生物炭处理间差异不显著。苏打盐碱土壤硝态氮量年际变化存在一定差异,2017年硝态氮随着生物炭的增加而显著降低,2018年硝态氮随着生物炭的增加而显著增加。

表2 不同处理下土壤氮素量 g/kg

处理	2017年				2018年			
	全氮量	碱解氮量	铵态氮量	硝态氮量	全氮量	碱解氮量	铵态氮量	硝态氮量
C0	0.23±0.016 d	26.32±1.54 a	13.96±0.62 a	2.41±0.29 a	0.21±0.016 c	30.92±2.67 a	6.09±0.24 a	1.37±0.09 c
C1	0.30±0.032 c	24.21±2.67 b	8.60±0.32 b	1.42±0.67 b	0.27±0.032 bc	24.50±1.75 b	5.52±0.05 b	1.58±0.07 b
C2	0.39±0.019 b	22.11±0.58 b	7.28±0.98 b	1.34±0.27 b	0.33±0.058 b	23.33±3.64 b	4.89±0.06 c	1.80±0.05 a
C3	0.44±0.016 a	21.06±1.01 b	5.57±0.75 c	0.98±0.25 c	0.49±0.065 a	21.58±1.01 b	4.75±0.20 d	1.83±0.03 a

注 同列数据(平均值±标准差)后不同小写字母表示差异达到5%的显著水平。下同。

2.1.2 生物炭对苏打盐碱稻田土壤速效磷、速效钾的影响

由表3可知,施用生物炭提高了苏打盐碱稻田土壤速效磷、速效钾量。土壤速效磷量随施炭量的增加而增加,且生物炭处理较C0处理差异均达显著水平;2017年,C3、C2、C1处理速效磷量较C0处理分别增加了192.44%、85.24%、34.82%,2018年分别增加了268.99%、191.77%、95.24%。土壤速效钾量随着生物炭施用量的增加而增加,且生物炭处理(除2017年C1处理外)较C0处理差异均达显著水平,生物炭处理间也均达到显著水平。2017年,C3、C2、C1处理速效钾量较C0处理分别增加了236.98%、145.64%、37.42%,2018年分别增加了195.39%、127.75%、62.00%。

表3 不同处理下速效磷和速效钾量 g/kg

处理	2017年		2018年	
	速效磷量	速效钾量	速效磷量	速效钾量
C0	7.29±0.31 d	123.68±14.39 c	5.20±0.72 d	105.27±9.06 d
C1	9.84±0.40 c	169.96±5.44 c	10.16±1.37 c	170.54±14.93 c
C2	13.51±1.00 b	303.82±30.40 b	15.18±0.99 b	239.76±18.13 b
C3	21.33±1.79 a	416.79±31.16 a	19.20±3.66 a	310.96±24.70 a

2.1.3 生物炭对苏打盐碱稻田土壤有机质和C/N的影响

添加生物炭提高了苏打盐碱稻田土壤有机质量和土壤C/N(表4)。土壤有机质量随着生物炭的增加而显著增加,且生物炭处理间也均达到显著水平。其中以C3处理最高,较C0处理提高了279.07%(2017年)和220.91%(2018年)。土壤C/N随着生物炭施用量的增加而增加,且生物炭处理(除2018年C1外)较C0均达显著水平。2017年C3、C2、C1处理土壤C/N较C0处理分别提高了101.20%、36.81%、26.52%,2018年分别提高了39.30%、38.63%、1.24%。

表4 不同处理下有机质量和C/N

处理	2017年		2018年	
	有机质量/%	C/N	有机质量/%	C/N
C0	0.71±0.03 d	17.63±1.17 c	0.86±0.02 d	24.53±0.20 b
C1	1.14±0.11 c	22.30±2.27 b	1.14±0.06 c	24.83±1.07 b
C2	1.63±0.10 b	24.12±1.72 b	1.94±0.07 b	34.00±0.44 a
C3	2.68±0.21 a	35.47±1.34 a	2.77±0.14 a	34.17±0.47 a

2.2 生物炭对苏打盐碱稻田产量与构成因子影响

2.2.1 生物炭对苏打盐碱稻田水稻生物产量的影响

由表5可知,施用生物炭对苏打盐碱稻田水稻生物产量具有显著影响。水稻的生物产量随着生物炭施用量的增加而增加,但生物炭处理间无显著差异。C3处理生物产量最高,2017年较C0处理提高83.38%,2018年较C0处理提高了31.56%;C1、C2、C3处理水稻生物产量2个年度的均值较C0处理平均增加48.35%、52.09%、57.47%。水稻的收获指数随生物炭的增加表现为C2处理>C1处理>C3处理>C0处理,且生物炭处理与C0处理差异显著,但生物炭处理间无显著差异。收获指数最高为C2处理,2017年较C0处理提高了43.13%,2018年较C0处理提高了20.49%。

表5 不同处理下水稻的生物产量和收获指数

处理	2017年		2018年	
	生物产量/(t·hm ⁻²)	收获指数/%	生物产量/(t·hm ⁻²)	收获指数/%
C0	7.40±1.11 b	36.19±1.59 b	11.28±1.76 b	40.66±4.22 b
C1	13.06±2.46 a	50.06±5.16 a	13.56±2.08 a	47.41±4.45 a
C2	13.01±1.40 a	51.80±1.34 a	14.48±1.09 a	48.99±1.72 a
C3	13.57±1.54 a	48.42±4.11 a	14.84±0.62 a	46.73±5.32 a

2.2.2 生物炭对苏打盐碱稻田水稻产量和产量构成因子的影响

施用生物炭提高了苏打盐碱稻田的水稻产量和构成因子(表6)。水稻实际产量随着施炭量的增加而增加,且生物炭处理与C0处理差异均达显著水平,但生物炭处理只在2018年C1处理与C2和C3处理之间存在显著差异,C1、C2、C3处理较C0处理2017年分别增加了144.15%、153.21%、145.66%,2018年分别增加了30.91%、37.23%、61.59%。添加生物炭显著提高了水稻穗数、千粒质量、结实率,但生物炭处理间只在2018年存在一定的差异,其中穗数在C2处理与C1和C3处理之间存在显著差异,结实率在C1处理和C2处理之间达到显著差异水平。生物炭对苏打盐碱地水稻穗粒数的影响在年际间存在一定差异。由此可见,生物炭显著增加了苏打盐碱稻田水稻产量,其中水稻穗数、千粒质量、结实率的增加是主要因素。

表6 各处理产量构成因子

处理	2017年					2018年				
	穗数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数	千粒质量/g	结实率/%	实际产量/(t·hm ⁻²)	穗数/(10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数	千粒质量/g	结实率/%	实际产量/(t·hm ⁻²)
C0	286.67±16.33 b	64.33±1.09 b	23.49±0.97 b	67.61±0.02 b	2.65±0.19 b	300.00±21.91 c	73.44±3.02 a	24.78±0.35 b	83.55±0.02 c	4.40±0.16 c
C1	450.00±22.80 a	66.15±3.20 a	25.91±0.58 a	89.32±0.05 a	6.47±0.68 a	386.67±20.66 b	64.94±2.11 b	25.99±0.46 a	92.61±0.02 b	5.76±0.25 b
C2	430.00±43.82 a	69.92±3.39 a	26.44±0.17 a	89.48±0.03 a	6.71±0.48 a	430.00±32.86 a	68.18±6.00 b	25.91±0.26 a	95.51±0.01 a	7.01±0.68 a
C3	433.33±27.33 a	68.22±3.09 a	25.51±0.30 a	90.17±0.02 a	6.51±0.40 a	396.67±23.38 b	76.10±1.73 a	26.43±0.54 a	94.15±0.02 ab	7.11±0.28 a

3 讨论

3.1 生物炭对苏打盐碱土壤养分的影响

前人研究表明,盐碱土具有较低全氮量、碱解氮量,且具有较高的可溶性盐量^[23]。土壤中过量的盐直接影响根系微生物的组成和活动,从而间接影响了土壤中养分的量^[24]。盐碱土具有较高的pH值,导致大量的N通过NH₃和N₂O挥发从土壤中流失^[25],造成土壤中含氮量较低。生物炭本身具有大量的营养元素(表1),同时具有较大的表面积和极强的吸附能力,增强了对土壤中养分的吸附能力,减少了养分的损失^[26]。盆栽试验研究^[27]表明,生物炭能提高盐碱旱田土壤中的全氮量。本研究表明,施用生物炭显著提高了苏打盐碱稻田土壤全氮量,但显著降低苏打盐碱稻田土壤碱解氮量(表2)。可能是因为施用生物炭改善了植物根际环境,促进了根系的生长和对土壤中速效养分的吸收,进而降低了土壤中碱解氮量^[28]。本研究同时发现,生物炭显著降低了苏打盐碱稻田土壤铵态氮的量,而硝态氮量在年际间存在一定差异。原因可能是:①施入生物炭增加了土壤微生物的丰度和活性^[29],也增加了土壤C/N,促使微生物吸收大量的无机态氮,因而施炭各处理加大了对铵态氮和硝态氮的吸收利用,进而降低了土壤中的量;②施用生物炭可消减苏打盐碱胁迫对水稻生长发育的影响^[13],显著提高水稻生物产量(表5),生物产量的增加也加大了水稻植株对土壤铵态氮和硝态氮的吸收,在相同施肥量的条件下,未施炭处理土壤中无机肥料残留量较高,这也是施炭处理土壤铵态氮和第1年硝态氮量低于未施炭处理的原因之一。第2年硝态氮升高,可能是由于施用生物炭一个生长季后,通过土壤微生物活动和生物炭本身的养分释放以及生物炭对养分的吸附作用增加了土壤中的硝态氮量,同时土壤碳氮比也得到一定程度改善,而盐碱胁迫下水稻对无机态氮的吸收主要以铵态氮为主^[30],这就造成了年际间硝态氮的变化存在一定差异。生物炭对土壤理化性质的改善和作物产量的促进作用随时间的延长而表现出一定的累加效应^[31];因此,生物炭对苏打盐碱稻田土壤铵态氮、硝态氮的长期效应有待进一步的研究。

苏打盐碱土壤中速效磷、速效钾、有机质量较低。土壤中速效磷量与土壤pH值和有机质密切相关^[32]。盐碱土具有较高的pH值,严重降低了土壤中磷的有效性^[33],同时较强的分散性增加了土壤有机质的矿化^[34]。贾俊香等^[35]研究表明,施用生物炭提高了采煤塌陷复垦区土壤有机碳、速效磷、速效钾的量。本研究表明,生物炭显著增加了苏打盐碱稻田土壤的速效磷、速效钾、有机质量。这与盆栽盐碱条件下研究结论“施用生物炭增加了土壤的速效磷、速效钾、有机质量”^[36]大体一致。生物炭提高盐碱土壤速效磷、速效钾、有机质量可能原因:①本身具有大量营养元素(表1),添加到盐碱土壤后直接增加了土壤养分;②生物炭增加土壤C/N,改善了微生物的生存环境,增加了微生物相对丰度和分布,促进了土壤中有有机物的分解^[37],从而提高了土壤速效磷、速效钾量;③生物炭具有丰富的碳孔结构、较大的表面积、较强的吸附能力,能够降低土壤速效磷、速效钾、有机碳的淋失,从而提高土壤中速效磷、速效钾、有机碳的量^[26,38]。

3.2 生物炭对苏打盐碱稻田产量的影响

盐碱胁迫降低了水稻有效穗数、穗粒数、千粒质量,从而降低了水稻产量^[39]。盐碱胁迫导致植物体内积累了大量的Na⁺,打破了植物体内的Na⁺/K⁺平衡^[2],同时对细胞膜和细胞质中的代谢活动直接产生离子毒害作

用^[40];盐碱土壤有着较高的pH值,高pH值直接使植物根系组织受到损伤,导致根系细胞失去了正常的生理功能^[41]。盐碱土壤的离子毒害、高pH值胁迫严重影响了水稻的生长发育,从而降低水稻产量。徐晨等^[42]研究表明,盐胁迫能显著降低水稻地上部生物量的积累。本研究表明,施用生物炭能显著提高苏打盐碱胁迫下水稻的生物产量和收获指数,同时对水稻产量构成因素(穗数、千粒质量、结实率)增加显著,从而显著提高了水稻产量(表5、表6)。这与轻度苏打盐碱盆栽试验研究结果“生物炭显著增加水稻穗数、穗粒数、千粒重、结实率,同时显著增加了水稻产量”^[13]趋于一致。生物炭通过释放必需的宏观和微观养分(Ca、K、N、P、Zn、S等),降低了土壤交换复合物中Na的比例,使植物各器官中Na⁺量下降,减轻了Na⁺的毒害作用,同时还改善了植物根际环境,促进了根系的生长和对土壤中养分的吸收,有利于植物的生长发育,从而提高了作物产量^[12-13,43]。

4 结 论

1)生物炭显著增加了苏打盐碱稻田土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质的量,其中以C3处理增加量最大;同时生物炭也显著降低了苏打盐碱稻田土壤碱解氮、铵态氮的量,且其值随着施氮量的增加而降低。2)生物炭显著提高了苏打盐碱稻田的水稻生物产量和收获指数,其中水稻生物产量以C3处理最大,而收获指数以C2处理最高。3)生物炭显著增加了苏打盐碱稻田水稻的穗数、千粒质量、结实率,从而显著提高了水稻产量。

参考文献:

- [1] 张巍,冯玉杰. 松嫩平原盐碱土理化性质与生态恢复[J]. 土壤学报, 2009, 46(1):169-172.
- [2] 刘奕嫩,于洋,方军. 盐碱胁迫及植物耐盐碱分子机制研究[J]. 土壤与作物, 2018, 7(2):201-211.
- [3] CHAGANTI V N, CROHN D M. Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline-sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water[J]. Geoderma, 2015, 259/260:45-55.
- [4] 李彬,王志春,迟春明. 吉林省大安市苏打盐碱土碱化参数与特征分析[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1):20-23, 28.
- [5] CHI C M, ZHAO C W, SUN X J, et al. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, Northeast China[J]. Geoderma, 2012, 187/188:24-30.
- [6] 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.
- [7] 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: 61-68.
- [8] XU G, LV Y, SUN J, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(10): 1 093-1 098.
- [9] 杨放,李心清,刑英,等. 生物炭对盐碱土氮淋溶的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(5): 972-977.
- [10] BURRELL L D, ZEHETNER F, RAMPAZZO N, et al. Long-term effects of biochar on soil physical properties[J]. Geoderma, 2016, 282:96-102.
- [11] JOSEPH S D, CAMPSARBESTAIN M, LIN Y, et al. An investigation into the reactions of biochar in soil[J]. Soil Research, 2010, 48: 501-515.
- [12] 张伟明,孟军,王嘉宇,等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(8):1 445-1 451.
- [13] JIN F, RAN C, ANWARI Q A, et al. Effects of biochar on sodium ion accumulation, yield and quality of rice in saline-sodic soil of the west of Songnen plain, northeast China[J]. Plant Soil Environment, 2018, 64(12):612-618.
- [14] LIU Y, LU H H, YANG S M, et al. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons[J]. Field Crops Research, 2016, 191:161-167.
- [15] 张爱平,刘汝亮,高霁,等. 生物炭对灌淤土氮素流失及水稻产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(12):2 395-2 403.
- [16] 张继宁,周胜,李广南,等. 秸秆生物炭对水稻生长及滩涂土壤化学性质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6):492-499.
- [17] LIN X W, XIE Z B, ZHENG J Y, et al. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil[J]. European Journal of Soil Science, 2015, 66(2):329-338.
- [18] ABRISHAMKESH S, GORJI M, ASADI H, et al. Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth[J]. Plant Soil Environment, 2015, 61(11): 475-482.
- [19] RAYMENT G E, LYONS D J. Soil chemical methods: Australasia[M]. Colling wood: Soil Chemical Methods-Australasia, 2011, 27(1):131.
- [20] LIU X Y, ZHENG J F, ZHANG D X, et al. Biochar has no effect on soil respiration across Chinese agricultural soils[J]. Science of the Total Environment, 2016, 554/555: 259-265.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-58.
- [22] 南江宽,王浩,王劲松,等. 不同水分条件下秸秆生物炭对高粱生长和养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4):1 027-1 038.
- [23] 王颖,刘会玲,崔江慧,等. 环渤海地区盐渍土养分及盐分离子分布特征[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1):344-348, 356.
- [24] NELSON D R, MELE P M. Subtle changes in rhizosphere microbial community structure in response to increased boron and sodium chloride concentrations [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(1):340-351.
- [25] SANGWAN P S, SINGH J P, KUMAR V. Ammonia volatilization losses from surface applied urea in sodic soils[J]. Annals of Biology, 2004, 20(2):157-160.

- [26] 李卓瑞, 韦高玲. 不同生物炭添加量对土壤中氮磷淋溶损失的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25(2):333-338.
- [27] 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):5 291-5 297.
- [28] OLMO M, VILLAR R, SALAZAR P, et al. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development[J]. Plant & Soil, 2016, 399(1/2): 1-11.
- [29] BHADURI D, SAHA A, DESAI D, et al. Restoration of carbon and microbial activity in salt-induced soil by application of peanut shell biochar during short-term incubation study[J]. Chemosphere, 2016, 148(4): 86-98.
- [30] WANG H, AHAN J, WU Z H, et al. Alteration of nitrogen metabolism in rice variety "Nipponbare" induced by alkali stress[J]. Plant and Soil, 2012, 355(1/2): 131-147.
- [31] STEINER C, GLASER B, GERALDES T W, et al. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2008, 171(6):893-899.
- [32] NAIDU R, SYERS J K, TILLMAN R W, et al. Assessment of plant-available phosphate in limed, acid soils using several soil-testing procedures[J]. Fertilizer Research, 1991, 30(1): 47-53.
- [33] 耿玉辉, 柴立涛. 不同碱性条件对苏打盐碱土无机磷组分的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6):226-229.
- [34] WONG V N L, GREENE R S B, DALAL R C, et al. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review[J]. Soil Use and Management, 2010, 26(1): 2-11.
- [35] 贾俊香, 谢英荷. 生物炭对采煤塌陷复垦区土壤养分与酶活性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11):88-91.
- [36] SUN J, HE F, SHAO H, et al. Effects of biochar application on Suaeda salsa growth and saline soil properties[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(8): 630.
- [37] 武爱莲, 丁玉川, 焦晓燕, 等. 玉米秸秆生物炭对褐土微生物功能多样性及细菌群落的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(6):736-743.
- [38] 邢英, 李心清, 房彬, 等. 生物炭添加对两种类型土壤 DOC 淋失影响[J]. 地球与环境, 2015, 43(2):133-137.
- [39] 张瑞珍, 邵玺文, 童淑媛, 等. 盐碱胁迫对水稻源库与产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2006(1):116-118.
- [40] HASEGAWN P M, BRESSAN R A, ZHU J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 2000, 51(1): 463-499.
- [41] RANA M, MARK T. Mechanisms of Salinity Tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59(1): 651-681.
- [42] 徐晨, 刘晓龙, 李前, 等. 氮水平对不同时期盐胁迫下水稻生长及生理特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(6):48-53.
- [43] THOMAS S C, FRYE S, GALE N, et al. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 129(18): 62-68.

Amending Soda Saline-alkali Paddy Soil with Biochar Improves Soil Nutrients and Rice Yield

RAN Cheng, SHAO Xiwen, ZHU Jing, ZHANG Siqu, WANG Xiaowei, WANG Wenlong,
LI Jianbo, HAN Dong, LIU Xu, GENG Yanqiu, GUO Liying, LIU Lixin, JIN Feng*
(College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract:【Objective】One challenge facing rice growers in soda saline-alkali soil is poor soil nutrients and low yield. This paper presents the results of an experimental study on effectiveness of using biochar to ameliorate these constraints.【Method】A two-year experiment (2017—2018) was conducted at Sheli Town in Baicheng City, Jilin Province; we used the variety of Changbai 9 as the model plant. The soil was amended with biochar at four levels: 0 t/hm² (CK), 33.75 t/hm² (C1), 67.5 t/hm² (C2) and 101.25 t/hm² (C3). For each treatment, we measured nutrients in 0~20 cm soil, as well as rice yield.【Result】Amending the soda saline-alkaline soil with biochar significantly increased total nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter ($P<0.05$), yet significantly reduced soil alkaline nitrogen and ammonium nitrogen contents in the top 0~20 cm soil. Compared to CK, C1, C2 and C3 also significantly increased rice yield and the harvest indices by 48.35%, 52.09% and 57.47% respectively; they also improved the panicle number, 1000-grain weight and seed establishing rate.【Conclusion】Amendment of the soda saline-alkali soil with biochar can improve soil nutrients, thereby increasing yield.

Key words: biochar; saline-sodic stress; available nutrients; yield composition

责任编辑: 刘春成