

秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤养分及产量的影响

朱晶, 张巳奇, 冉成, 王晓炜, 耿艳秋, 郭丽颖, 邵玺文*, 金峰*
(吉林农业大学农学院, 长春 130118)

摘要:为探究秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤养分及水稻产量的影响,以长白9号作为试验材料,通过大田试验,采用随机区组设计,设5个秸秆还田处理,分别为CK(无秸秆还田)、S1(40%秸秆还田)、S2(60%秸秆还田)、S3(80%秸秆还田)、S4(100%秸秆还田)。于水稻成熟期,采集0~20 cm耕层土壤测定有机质、全氮、碱解氮、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾的含量,并测定水稻产量。秸秆还田处理显著提高土壤全氮、碱解氮、铵态氮、硝态氮和有机质含量,在S4处理增加最显著,但S4与S3处理间无显著差异;2017年增幅分别为11.54%~26.92%、11.84%~40.00%、17.1%~19.9%、6.0%~35.0%、18.3%~42.3%;2018年增幅分别为7.4%~33.3%、6.25%~40.63%、4.3%~25.4%、18.0%~36.0%、22.8%~35.2%。2年秸秆还田处理后土壤速效磷含量平均增加20.24%,增幅为11.26%~32.24%;土壤速效钾含量平均增加15.32%,增幅为10.80%~20.15%。秸秆还田处理显著提高水稻产量,2017年增幅为37.2%~100.6%,2018年增幅为43.0%~69.8%,2年均均为S3增产效果最显著。有效穗数、穗粒数和结实率的增加是水稻产量增加的主要原因。秸秆还田能显著提高松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤养分含量和水稻产量,其中80%秸秆还田(5.6 t/hm²)效果最为显著。

关键词: 秸秆还田; 苏打盐碱土; 土壤养分含量; 产量构成

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)01-0042-05

Effects of Straw Returning on Soil Nutrient and Yield of Paddy Field in Soda Saline-alkali Soil in the West of Songnen Plain

ZHU Jing, ZHANG Siqi, RAN Cheng, WANG Xiaowei, GENG Yanqiu, GUO Liying, SHAO Xiwen*, JIN Feng*
(Faculty of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to explore the effects of straw returning on soil nutrient and rice yield in paddy field in soda saline-alkali soil in the western Songnen Plain, Changbai 9 was used as the experimental material. Through the field experiment, five straw returning treatments were set up, which were CK (no straw returning), S1 (40% straw returning), S2 (60% straw returning), S3 (80% straw returning) and S4 (100% straw returning). At the maturity stage of rice, the soil of 0-20 cm plough layer was collected to measure the contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium, and the yield of rice was determined. Straw returning treatment significantly increased soil total nitrogen, available nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and organic matter content. The most significant increase was in S4, but there was no significant difference between S4 and S3. In 2017, the growth rates were 11.54%-26.92%, 11.84%-40.00%, 17.1%-19.9%, 6.0%-35.0%, 18.3%-42.3%, respectively. In 2018, the growth rates were 7.4%-33.3%, 6.25%-40.63%, 4.3%-25.4%, 18.0%-36.0%, 22.8%-35.2%, respectively. After two years of straw returning treatment, the content of soil available phosphorus increased by 20.24%, with an average increase of 11.26%-32.24%; the content of soil available potassium increased by 15.32%, with an average increase of 10.80%-20.15%. Straw returning treatment significantly increased rice yield by 37.2%-100.6% in 2017 and 43.0%-69.8% in 2018, and S3 had the most significant effect in two years. Increased number of effective panicles, grain per panicle and seed setting rate are

收稿日期: 2019-03-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501204、2017YFD0300609、2016YFD0300104); 吉林省重点科技攻关专项(20180201037NY)

作者简介: 朱晶(1993-), 女, 在读硕士, 研究方向为作物优质高产高效理论与技术。

通讯作者: 邵玺文, 男, 博士, 教授, E-mail: shaoxiwen@126.com

金峰, 男, 博士, 副教授, E-mail: 616530670@qq.com

the main reasons for the increase of rice yield. Straw returning can improve soil nutrient content and rice yield in paddy field in soda saline-alkali soil in the western Songnen Plain. Analysis of soil nutrient content and yield the best effect on 80% (5.6 t/ha) straw returning.

Key words: Straw returning; Soda saline-alkali soil; Soil nutrient content; Yield composition

随着社会发展耕地面积不断减少,粮食种植面积压力越来越大,盐碱地就成了有效的后备耕地资源^[1]。松嫩平原是我国苏打盐碱地分布的主要区域,其面积每年以1.5%的增加速率扩张。苏打盐碱土所含盐分主要为 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 ,具有较高的pH,土壤胶体含量丰富,致使该地区盐化的同时伴随着碱化过程,土壤养分贫瘠,不利于耕作,严重阻碍农业发展^[2-3]。种植水稻是改良苏打盐碱地的有效措施之一^[4],但仅依靠种稻前几年难以获得较好产量。因此,苏打盐碱地种稻要以改良土壤为前提,通过改善土壤结构和质地,增加土壤养分含量来提高盐碱地生产能力^[5]。

秸秆还田能抑制土壤表层盐分的积累,改善土壤微环境,缓解集约和连续常规耕作造成的土壤退化,实现土壤-作物系统矿质营养循环平衡,同时还能减少环境污染^[6-7]。秸秆还田能降低滨海盐碱地棉田土壤容重,维持土壤团聚体结构稳定性^[8],提高盐碱化草甸土^[9]、碱化土^[10]和黑土^[11]的土壤有机质含量和土壤碱解氮与全氮含量^[12],并能改善作物土壤养分供应状况,减少土壤矿物肥料的损失,提高作物产量^[6-12]。目前,关于秸秆还田的研究多集中在黑土、棕壤土、白浆土和滨海盐碱土等土壤类型上^[8-14],对大田试验条件下苏打盐碱地土壤养分系统研究较少。因此,本研究在松嫩平原西部苏打盐碱地稻田开展秸秆还田对土壤养分及产量的效应研究。预期结果可为改善苏打盐碱地稻田土壤理化性质、提高土壤肥力,促进苏打盐碱地稻作可持续发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于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。该地区属温带大陆性季风气候,年平均气温5.2℃,年平均降雨量399.9 mm,≥10℃活动积温平均为2 996.2℃·d,无霜期平均为144 d,年平均日照时数为2 915 h。2017年试验地初始土壤理化性质为容重1.61 g/cm³,pH值10.1,饱和电导率24.08 ds/m,交换性钠3.21 cmol/kg,阳离子交换量12.99 cmol/kg,碱化度24.74%,有机质0.64%,全氮0.27 g/kg,碱解氮16.3

mg/kg,速效磷9.13 mg/kg,速效钾107.25 mg/kg。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设5个秸秆还田水平,秸秆还田总量为7 t/hm²,处理分别为CK(无秸秆还田)、S1(40%秸秆还田)、S2(60%秸秆还田)、S3(80%秸秆还田)、S4(100%秸秆还田)。小区面积为36 m²(长8 m×宽4.5 m),每个处理3次重复。每年在10月末人工完全去除田间秸秆,在第二年5月初用金亿牌新型高效铡草机把秸秆切成5~7 cm长度。田间整地后保留2~3 cm水层,然后均匀施入秸秆,人工用耙子将其与0~20 cm耕层土壤混匀,自然沉淀5天,进行2~3次排水洗盐,洗田后施入基肥。

供试水稻品种为长白9号。2017年4月13日育苗,5月22日插秧,9月30日收获;2018年4月13日育苗,5月20日插秧,9月27日收获;插秧密度为30 cm×16.5 cm。氮肥(N)施用量为250 kg/hm²,磷肥(P₂O₅)施用量为50 kg/hm²,钾肥(K₂O)施用量为75 kg/hm²,氮肥施用比例为基肥:分蘖肥:穗肥=6:3:1,钾肥施用比例为基肥:穗肥=6:4,磷肥一次性做基肥施入。其他管理方法与生产田相同。为防止水肥互窜,试验处理间采用单排单灌,田间田埂宽50 cm,高30 cm。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 样品采集

2017~2018年水稻收获后,采用五点取样法使用土钻(内径5 cm)采集0~20 cm土层土壤。每个处理3次重复,将每个土样再分成2份装入聚乙烯自封袋,放入冰盒带回实验室。一份置于4℃冰箱中,用于测定土壤铵态氮和硝态氮含量;另一份自然风干,将样品中的杂质挑出,过1 mm及0.149 mm筛,备用。

成熟期每小区取1 m²植株用于实际测产,按14%标准含水量折算实际产量,重复3次;取10穴植株考种,调查有效穗数、实粒数、秕粒数、实粒重等产量性状指标,并计算千粒重和结实率。

1.3.2 测定方法

土壤有机质含量采用重铬酸钾-外加热容量法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,速效磷含量采用钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用火焰光度计法测

定,铵态氮、硝态氮含量采用AA3连续流动分析仪测定^[15],土壤含水量用烘干法测定。

1.4 数据计算和统计分析

采用Microsoft Excel 2010和DPS 13.01软件进行数据处理与统计分析,采用Duncan新复极差法进行不同处理间差异显著性检验分析,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤全氮及有机质含量的影响

表1 秸秆还田对苏打盐碱地稻田土壤全氮及有机质的影响

处理	2017			2018		
	全氮(g/kg)	有机质(%)	C/N	全氮(g/kg)	有机质(%)	C/N
CK	0.26±0.03b	0.71±0.01d	15.24±0.97b	0.27±0.01b	0.79±0.01d	16.72±0.39c
S1	0.29±0.01b	0.84±0.01c	16.98±0.71a	0.29±0.03b	0.97±0.01c	19.64±1.21a
S2	0.29±0.02b	0.92±0.02b	18.80±0.84a	0.31±0.06ab	1.06±0.01b	20.36±0.47a
S3	0.33±0.01a	0.96±0.03ab	16.99±0.85a	0.34±0.03ab	1.08±0.01a	18.81±0.59ab
S4	0.33±0.01a	1.01±0.01a	17.73±0.80a	0.36±0.03a	1.09±0.01a	17.47±1.46bc

注:表格中的数字均为平均值±标准差,同一年份同一列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同

2.2 秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤速效养分含量的影响

2.2.1 土壤碱解氮

由图1可知,2年数据表明,秸秆还田显著提高了土壤碱解氮含量,并随秸秆还田量的增加而增加。2017年增幅为11.84%~40.00%,2018年增幅为6.25%~40.63%。2017年S3、S4显著高于S1、S2,2018年S2、S3、S4显著高于S1、CK。

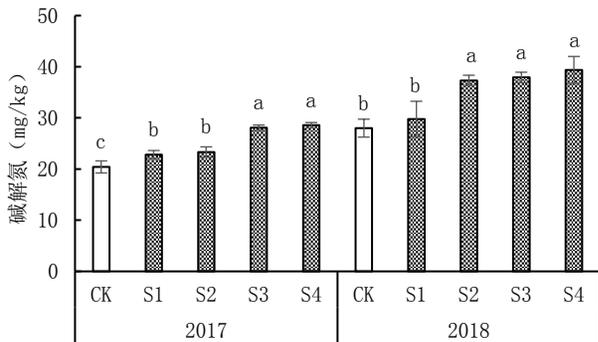


图1 秸秆还田对苏打盐碱地稻田土壤碱解氮的影响

2.2.2 土壤铵态氮和硝态氮

由表2可知,2017年土壤铵态氮含量呈S3>S2>S1>S4>CK的趋势,S1、S2、S3、S4较CK显著提高18.7%、19.0%、19.9%、17.1%;硝态氮含量呈S3>S4>S2>S1>CK的趋势,S2、S3、S4较CK显著提高16.2%、35.9%、31.7%,S3显著高于S1、S2,但与S4

由表1可知,秸秆还田能提高土壤全氮含量,S1、S2、S3、S4与CK相比2017年增幅为11.54%~26.92%,S3、S4增加效果最显著,显著高于S1、S2处理;2018年增幅为7.4%~33.3%,S4增加效果最显著,显著高于S1,与S2、S3差异不显著。秸秆还田能显著提高土壤有机质含量,S1、S2、S3、S4与CK相比2017年增幅为18.3%~42.3%,S4增加效果最显著;2018年增幅为22.8%~35.2%,S4增加效果最显著。秸秆还田提高了土壤C/N,且随着秸秆还田量的增加土壤C/N呈先升高后降低的趋势。

差异不显著。2018年土壤铵态氮和硝态氮含量均呈S4>S3>S2>S1>CK的趋势,其中S3、S4的土壤铵态氮含量较CK显著提高18.7%、25.4%,S4显著高于S1、S2;硝态氮含量S1、S2、S3、S4较CK显著提高18.0%、19.0%、25.0%、36.0%,S4显著高于S1、S2。

表2 秸秆还田对苏打盐碱地稻田土壤铵态氮及硝态氮的影响 mg/kg

处理	2017年		2018年	
	铵态氮	硝态氮	铵态氮	硝态氮
CK	6.85±0.10b	1.67±0.01c	5.62±0.97c	1.00±0.10c
S1	8.13±0.10a	1.77±0.01c	5.86±0.46c	1.18±0.13b
S2	8.15±0.08a	1.94±0.02b	6.09±0.60bc	1.19±0.15b
S3	8.21±0.11a	2.27±0.01a	6.67±0.37ab	1.25±0.05ab
S4	8.02±0.23a	2.20±0.21a	7.05±0.11a	1.36±0.05a

2.2.3 土壤速效磷

由图2可知,土壤速效磷含量随秸秆还田量的增加而逐渐增加,且显著高于CK处理(2017年S1除外);但S1、S2、S3处理间均无显著差异。2017年S1、S2、S3、S4土壤速效磷较CK提高11.26%、20.03%、21.28%、24.92%。2018年S1、S2、S3、S4较CK提高12.90%、17.00%、22.28%、32.24%。

2.2.4 土壤速效钾

由图3可知,土壤速效钾含量2年结果趋势相

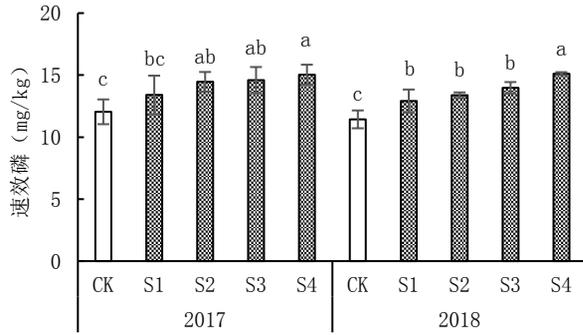


图2 秸秆还田对苏打盐碱地稻田土壤速效磷的影响

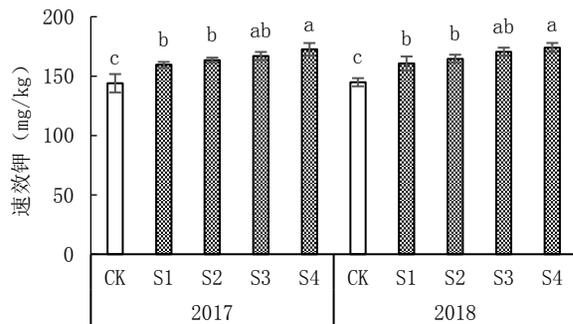


图3 秸秆还田对苏打盐碱地稻田土壤速效钾的影响

同,呈 $S4>S3>S2>S1>CK$ 的趋势, $S4$ 显著高于 $S2$ 、 $S1$ 、 CK 处理。 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 较 CK 显著提高 10.80%、13.46%、15.96%、19.88% (2017); 10.92%、13.66%、17.75%、20.15% (2018)。

2.3 秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地水稻产量及构成因素的影响

由表3可知,水稻产量2年结果趋势相同,呈 $S3>S4>S1>S2>CK$ 趋势, $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 较 CK 显著提高 38.1%、37.2%、100.6%、57.3% (2017); 43.2%、43.0%、69.8%、45.7% (2018)。对产量构成因素分析可知,不同处理间水稻千粒重无显著差异;有效穗数 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 较 CK 显著提高 26.7%、27.7%、41.5% (2017), 23.1%、24.1%、26.1% (2018); 穗粒数 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 较 CK 显著提高 10.3%、9.9%、25.8%、18.8% (2017), 13.1%、9.9%、14.9%、13.3% (2018); 结实率2017年 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 较 CK 显著提高 7.0%、8.3%、24.0%、23.5%, 2018年 $S2$ 、 $S3$ 、 $S4$ 较 CK 显著提高 8.1%、24.4%、22.7%。综上,有效穗数、穗粒数和结实率的增加是产量增加的主要因素,并在 $S3$ 效果最显著。

表3 秸秆还田对水稻产量及构成因素的影响

年份	处理	有效穗数(1×10^4 穗/hm ²)	穗粒数	结实率(%)	千粒重(g)	实际产量(t/hm ²)
2017	CK	318.93±15.43c	62.18±11.00d	71.34±2.55c	24.79±0.70a	3.23±0.37d
	S1	404.00±44.02ab	68.58±10.82c	76.32±2.22b	24.73±0.73a	4.46±0.48c
	S2	407.27±30.86ab	68.35±5.38c	77.27±3.01b	24.93±1.12a	4.43±0.40c
	S3	451.13±45.54a	78.21±3.32a	88.49±0.91a	25.46±0.38a	6.48±0.22a
	S4	363.60±10.10bc	73.90±2.27b	88.08±1.58a	24.93±0.31a	5.08±0.39b
2018	CK	336.47±11.66b	70.63±4.07b	73.01±3.45c	24.71±0.61a	4.14±0.50c
	S1	414.10±10.10a	79.85±2.14a	75.08±2.73bc	24.72±0.62a	5.93±0.36b
	S2	417.47±11.66a	77.60±2.12a	78.94±2.96b	24.55±0.16a	5.92±0.32b
	S3	424.20±20.20a	81.17±1.48a	90.79±1.38a	24.88±0.25a	7.03±0.31a
	S4	346.77±5.83b	80.04±3.69a	89.61±2.86a	25.31±0.44a	6.03±0.26ab

3 讨论

3.1 秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地稻田土壤养分含量的影响

土壤有机质是植物所需营养的重要来源之一。苏打盐碱地土壤中阳离子(Na^+)较多,肥力水平低,氮素极为匮乏,受盐分作用,氮素迁移转化更为复杂,而土壤有机质具有胶体性,能吸附较多阳离子,使土壤具有保肥力和缓冲性^[16-17]。本研究结果表明,秸秆还田能增加苏打盐碱地稻田土壤全氮、有机质、铵态氮和硝态氮含量。其原因可能是秸秆还田能降低土壤容重,促进土壤团粒结构的形成,改善土壤通透性与保肥保水能

力,从而减少氮的淋失量和硝化-反硝化的损失^[18]。同时秸秆还田能有效增加土壤碳源,从而增加土壤有机质含量。本研究设计施氮量 250 kg/hm²,基肥比例为 60%,能优化土壤 C/N,有利于秸秆腐解,但当秸秆还田量过高时,其分解会过多消耗土壤中氮素养分,容易造成“争氮”现象^[19]。秸秆还田能引起土壤氮矿化的正激反应,第一年秸秆还田后显著增加了土壤养分含量,其中一部分氮素以无机氮或有机氮结合形态残留在土壤中,可为后季作物吸收利用^[20],长期水稻秸秆还田有利于土壤中养分的积累^[21]。

本研究结果发现,2017~2018年不同秸秆还田量显著增加苏打盐碱地稻田土壤碱解氮、速效

磷、速效钾含量。赵海成等^[22]研究发现,在苏打盐碱地水稻秸秆还田极显著提高了土壤碱解氮含量;Iqbal^[23]研究表明秸秆还田显著提高盐土中土壤速效磷含量,并在25%秸秆还田效果最佳。苏打盐碱地具有较高的pH,降低了土壤磷的有效性,使磷更容易被土壤吸附固定^[24],但秸秆还田降低了土壤pH,减少土壤含盐量^[8],提高土壤磷的有效性,有利于土壤矿物中磷的释放,从而有效增加了土壤中速效磷含量。秸秆中含有大量的氮和钾,秸秆中钾素释放速度快,容易被作物吸收利用^[25],秸秆还田还能维持土壤钾素的有效成分^[26]。本研究表明碱解氮与速效钾的含量均随着秸秆还田量的增加而增加。秸秆还田是一个长期过程,秸秆中的碳、氮主要以有机态存在,所以随着还田年限的延长,土壤碳、氮含量越多,对土壤养分补偿效果越好。

3.2 秸秆还田对松嫩平原西部苏打盐碱地水稻产量及构成因素的影响

盐碱土中含有大量可溶性盐,影响植物根系对水分和养分的吸收,直接危害作物生长发育,使其严重减产^[27]。秸秆还田能降低土壤pH,增加土壤养分含量,提高作物产量^[28]。本研究结果表明,在苏打盐碱地稻田不同秸秆还田量可显著增加水稻产量,2017~2018年在80%秸秆还田产量增加最显著,可能是因为秸秆还田改善了土壤理化性质,增加了土壤养分含量,促进了水稻植株对氮、磷、钾养分的吸收利用,从而提高了水稻产量。郑悦等^[27]利用盆栽试验也发现,秸秆还田提高了苏打盐碱地水稻产量。但过量的秸秆还田会导致水稻分蘖成穗率下降,进而降低水稻的产量^[29]。本研究为2年试验结果,而秸秆还田是一个长期试验,所以还需进一步研究。

4 结 论

2017~2018年秸秆还田显著提高了苏打盐碱地稻田土壤有机质、全氮、碱解氮、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾含量,土壤养分含量在高还田量下(80%和100%秸秆还田量)效果最佳。秸秆还田可显著提高苏打盐碱地稻谷产量,而有效穗数、穗粒数和结实率的提升是水稻产量增加的主要因素,其中在80%秸秆还田量(5.6 t/hm²)下增产效果最显著。

参考文献:

[1] 严 凯,蒋玉兰,唐纪元,等.盐碱地条件下施氮量和栽插

密度对水稻产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(2):67-74.

[2] 徐子棋,许晓鸿,松嫩平原苏打盐碱地成因、特点及治理措施研究进展[J].中国水土保持,2018(2):54-59,69.

[3] 张 磊,侯云鹏,王立春.盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J].东北农业科学,2018,43(4):11-16.

[4] 陈恩凤,王汝楠,胡思敏,等.吉林省前郭旗灌区苏打盐渍土的改良[J].土壤学报,1962(2):201-215.

[5] 张 唤,黄立华,李洋洋,等.东北苏打盐碱地种稻研究与实践[J].土壤与作物,2016,5(3):191-197.

[6] 董 亮,田慎重,王学君,等.秸秆还田对土壤养分及土壤微生物数量的影响[J].中国农学通报,2017,33(11):77-80.

[7] Lou Y, Xu M, Wang W, et al. Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization[J]. Soil & Tillage Research, 2011, 113(1):70-73.

[8] 秦都林,王双磊,刘艳慧,等.滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J].作物学报,2017,43(7):1030-1042.

[9] 周连仁,国立财,于亚利.秸秆还田对盐渍化草甸土有机质及微团聚体组分的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(8):123-127.

[10] Zhao S, He P, Qiu S, et al. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China[J]. Field Crops Research, 2014, 169: 116-122.

[11] 刘武仁,郑金玉,罗 洋,等.秸秆循环还田土壤环境效应变化研究[J].吉林农业科学,2015,40(1):32-36.

[12] 韩新忠,朱利群,杨敏芳,等.不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2192-2199.

[13] 王秋菊,常本超,张劲松,等.长期秸秆还田对白浆土物理性质及水稻产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(14):2748-2757.

[14] 闫洪奎,胡 博,高立祯.长期施用秸秆及有机肥对辽宁北部棕壤土壤有效养分的影响[J].沈阳农业大学学报,2013,44(6):812-815.

[15] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000:30-108.

[16] 陈大超,张跃强,甘 涛,等.有机肥施用量及深度对柑橘产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):143-147.

[17] 李洋洋.苏打盐碱地稻田氨挥发及氮素利用效率研究[D].长春:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2017.

[18] Pjavan A, Pmvan B, Mulder L M, et al. Effect of straw application on rice yields and nutrient availability on an alkaline and a pH-neutral soil in a Sahelian irrigation scheme[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2005, 72(3):255-266.

[19] 李春阳.不同秸秆还田量对土壤性状及玉米产量的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.

[20] 侯云鹏,李 前,孔丽丽,等.不同缓/控释氮肥对春玉米氮素吸收利用、土壤无机氮变化及氮平衡的影响[J].中国农业科学,2018,51(20):3928-3940.

(下转第51页)

4 结 论

本研究结果表明,加施大部分中微量元素均对玉米株高、干物质积累及产量形成产生明显促进作用,但品种间差异较为显著。加施镁、钼、铜和锌元素均对吉单 209 和四单 19 两品种全生育期具有促进作用。其中,加施锌、硅、铜、硼、钼和硫元素可明显提升四单 19 的籽粒产量,加施锰、镁、硫、钼和铜元素可明显提升吉单 209 的籽粒产量。

参考文献:

- [1] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. 地理学报, 1983(1): 1-10.
- [2] 冶明珠, 郭建平, 袁 彬, 等. 气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2786-2794.
- [3] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 气候变化情景下东北地区玉米产量变化模拟[J]. 中国生态农业学报, 2008(6): 1448-1452.
- [4] 徐新良, 刘纪远, 曹明奎, 等. 近期气候波动与LUCC过程对东北农田生产潜力的影响[J]. 地理科学, 2007(3): 318-324.
- [5] 刘传玉, 郭 强. 论现代农业的发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 436-438.
- [6] 张琦珠, 孙秀秀, 王志华. 黑钙土垦后肥力演变的探讨[J]. 干旱区研究, 1985(3): 25-30.
- [7] 刘晓永. 中国农业生产中的养分平衡与需求研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [8] 余陇辉, 段春萍, 闫宏生. 春玉米平衡施肥技术[J]. 农业与技术, 2018, 38(24): 66.
- [9] 李兆林, 王建国, 许艳丽, 等. 微量元素肥料组合对不同基因型大豆产量和品质影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2004(4): 281-284.

- [10] 黄 河, 蒋 琼, 杨志珍, 等. 微量元素肥料对柑桔产量及品质的影响[J]. 广西农业科学, 2005(3): 236-237.
- [11] 张媛华. Cd胁迫对绿豆幼苗生长, 光合作用及微量元素代谢的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(1): 35-37.
- [12] 吴荣华, 李俊庆, 庄克章, 等. 几种微量元素对玉米产量及其经济效益的影响[J]. 现代农业科技, 2014(19): 15.
- [13] 杨系玲, 杨克军, 李佐同, 等. 锌对不同基因型玉米幼苗光合特性及锌积累的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 571-579.
- [14] 蔡红光, 张秀芝, 闫孝贡, 等. 吉林省春玉米土壤中、微量元素“潜缺乏”初探[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 71-75.
- [15] 闫孝贡, 武 巍, 陈 颖, 等. 玉米施用中微量元素肥料效果的研发[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(2): 33-35.
- [16] 张宪良, 高 巍, 金今子, 等. 玉米中微量元素施用效果试验报告[J]. 吉林农业, 2011(7): 67.
- [17] Duan Y H, Zhang Y L, Ye L T, et al. Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition[J]. Annals of Botany, 2007, 99(6): 1153-1160.
- [18] Zhou J, Li J Q, Zhang B, et al. Difference of nitrogen uptake and use efficiency in conventional indica rice cultivars with different nitrogen use efficiency for grain output[J]. Agric. Sci. & Tec., 2008, 9(6): 68-73, 141.
- [19] Cheng J F, Jiang H Y, Liu Y B, et al. Methods on identification and screening of rice genotypes with high nitrogen efficiency[J]. Rice Sci., 2011, 18(2): 127-135.
- [20] Mina R, Chaichi M R, Jahansouz M R, et al. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels[J]. Agricultural water management, 2011, 98(10): 1607-1614.
- [21] 王 正. 重视元素间互作镁营养综合管理[N]. 农资导报, 2018-01-23(C04).

(责任编辑:刘洪霞)

(上接第 46 页)

- [21] 牛 东. 连续水稻秸秆还田年限对麦季土壤养分含量及温室气体排放的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [22] 赵海成, 郑桂萍, 靳明峰, 等. 连年秸秆与生物炭还田对盐碱土理化性状及水稻产量的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(9): 1836-1844.
- [23] Iqbal T. Rice straw amendment ameliorates harmful effect of salinity and increases nitrogen availability in a saline paddy soil [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2016, 17(4): 445-453.
- [24] 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.
- [25] 肖小平, 汤海涛, 纪雄辉. 稻草还田模式对稻田土壤速效氮、钾含量及晚稻生长的影响[J]. 作物学报, 2008(8):

1464-1469.

- [26] 李秀双, 师江澜, 王淑娟, 等. 长期秸秆还田对农田土壤钾素形态及空间分布的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 109-117.
- [27] 郑 悦. 生物炭与秸秆还田对盐碱地水稻土壤理化性状及产量的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015.
- [28] 王崇华, 王喜枝, 王立河, 等. 秸秆腐熟剂在河南粘质潮土麦田上的应用效果研究[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(3): 33-36.
- [29] 胡 瑶, 王学春, 王红妮, 等. 油菜秸秆覆盖还田及磷肥调控对水稻生长及产量的影响[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 2018, 50(3): 114-123.

(责任编辑:刘洪霞)