



董文军,唐傲,张俊,等.克盐碱水溶肥对松嫩平原苏打盐碱地水稻产量和品质的影响[J].黑龙江农业科学,2022(8):14-18.

克盐碱水溶肥对松嫩平原苏打盐碱地 水稻产量和品质的影响

董文军^{1,2},唐 傲¹,张 俊³,刘猷红¹,孟 英¹,刘 凯^{2,4},张喜娟¹,来永才^{2,4}

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所/农业部东北地区作物栽培科学观测试验站/黑龙江省寒地作物生理生态重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150023;2. 国家耐盐碱水稻技术创新中心 东北中心,黑龙江 哈尔滨 150086;3. 中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081;4. 黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:盐碱地水稻种植是松嫩平原苏打盐碱土利用的一种主要方式。为明确克盐碱水溶肥缓解水稻盐碱危害的效果,在秸秆还田下,分别于水稻移栽前和分蘖期施用克盐碱水溶肥,调查其对东北松嫩平原苏打盐碱地水稻产量和品质的影响。结果表明,与常规对照相比,在分蘖期施用克盐碱水溶肥的水体 pH 和 EC 分别显著降低 3.80% 和 4.93%,土壤 EC 显著降低 11.65%,在灌浆期施用克盐碱水溶肥的水体 pH、EC 和土壤 pH、EC 变化不大;施用克盐碱水溶肥的水稻籽粒产量较常规对照显著增加 21.94%,有效穗数显著增加 26.51%,结实率增加 2.51%,每穗粒数降低 8.18%,千粒重显著降低 3.68%;施用克盐碱水溶肥的水稻糙米率、精米率和整精米率较常规对照均呈下降趋势,垩白粒率和垩白度分别显著降低 33.49% 和 54.95%,食味值略有增加,直链淀粉含量和蛋白质含量均有所降低;施用克盐碱水溶肥的纯收益为 813.86 元·hm⁻²。综上所述,施用克盐碱水溶肥可以显著降低生育前期水体的 pH 和 EC 以及土壤 EC,显著提高水稻产量,获得较好的经济效益,有利于提高稻米的外观品质和蒸煮食味品质。

关键词:松嫩平原;苏打盐碱地;克盐碱水溶肥;水稻

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



我国是世界上的水稻生产大国,水稻种植面积达 3 000 万 hm²,约占世界稻田面积的 27%,占我国粮食作物耕地总面积的 34% 左右^[1]。东北松嫩平原是我国重要的粳稻主产区,然而该区域西部的盐碱土区是我国最大的苏打盐碱土分布区,也是世界三大苏打盐碱土分布区之一^[2-3]。此类土壤盐分重、碱化度高、土质黏性大、通透性差,致使作物难以正常生长,治理难度相当大,被称为“地球之癣”^[4]。据不完全统计,目前松嫩平原还有 41.33 万 hm² 盐碱地具有开发种植水稻的潜力,充分开发利用这一区域,对于进一步保障我

国口粮有效供给和耕地保护具有重要作用^[5]。

目前,改良苏打盐碱土的技术主要有 3 种:物理改良、化学改良和生物改良^[2,6]。其中化学改良方法是一种非常重要的技术手段,现有的改良剂主要包括含钙物质、酸性物质和有机类改良剂 3 种类型^[7]:(1)含钙物质如石膏、磷石膏、石灰等,主要以 Ca²⁺ 代换 Na⁺ 为改良机理。隋世江等^[6]研究发现,脱硫石膏与硫酸亚铁以 1:1 掺混施用对苏打盐碱水田的改良效果更好。沈婧丽等^[8]认为脱硫石膏可以有效改良盐碱地土壤全盐、碱化度、光合及水分利用效率、产量等指标。(2)酸性物质如硫酸及其酸性盐类、磷酸及其酸性盐类,主要以中和碱为改良机理。(3)有机类改良剂如有机物料、绿肥、草炭等传统的腐殖质类,还有工业合成改良剂和工农业废弃物等。赵哲萱等^[9]研究表明,水稻秸秆还田量 5.6 t·hm⁻² 为改善苏打盐碱稻区土壤结构和提高水稻产量的最佳还田量。此外,还有研究人员主要从秸秆不同还田方式、还田量等对盐碱地土壤理化性质、土壤微生物及酶活性、作物生长特性和产量影响等角度进行

收稿日期:2022-05-20

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费重点项目(CZKYF2021-2-B019);黑龙江省农业科学院杰出青年基金项目(2021JCQN003);黑土地保护与利用科技创新工程专项(XDA28030403);黑龙江省科技计划省院科技合作项目(YS20B12)。

第一作者:董文军(1981—),男,博士,副研究员,从事水稻耕作栽培与稻田温室气体排放理论与技术研究。E-mail: dongwenjun0911@163.com。

通信作者:来永才(1964—),男,博士,研究员,从事现代农作制度、耕作栽培及农业资源利用研究。E-mail: yame0451@163.com。

了综述^[10]。王丽娜等^[11]综合分析了生物炭的施加对盐碱土壤的物理化学性质、养分含量变化、微生物方面及作物生物量的研究进展。韩雨航等^[12]研究施用粪肥对吉林省西部苏打盐碱土的改良和培肥效果发现,牛粪和羊粪合理配施将会促进苏打盐碱土的改良和肥力提升。钟伟等^[13]通过施工业农业废弃物开发的一种针对苏打盐碱地的专用肥料可以提高苏打盐碱地农产品的产量,修复改良土壤,恢复地力,降低盐碱度。但是,通过利用酸性物质与微量元素相结合制成的水溶肥料改良苏打盐碱土的研究较少,为此,本研究在秸秆还田的基础上施用克盐碱水溶肥,分析其对水稻产量和品质的影响,明确克盐碱水溶肥对东北松嫩平原苏打盐碱土的化学改良效果,为秸秆还田条件下苏打盐碱水田化学改良提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黑龙江省大庆市肇源县超等乡国家耐盐碱水稻技术创新中心东北中心试验基地(45°33'N,124°44'E,海拔 126 m),属于温带大陆性季风气候。供试土壤为苏打盐碱土,基本理化性质为 pH9.9,EC 347.5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,全盐量 0.9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱化度 20.5%,有机质 10.9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 61.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 29.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 273.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试水稻品种为海稻 2 号,由肇源县超等乡国家耐盐碱水稻技术创新中心东北中心试验基地提供。供试肥料为克盐碱水溶肥,由商丘佳佳润肥业有限公司生产。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验于 2021 年 4—10 月进行,开展 1 个生长季的试验,在秸秆全量还田条件下,设置常规对照和施用克盐碱水溶肥 2 个处理。

试验采用完全随机区组设计,3 次重复,每个小区面积约 300 m^2 ,水稻 5 月 26 日人工移栽,栽插密度为 30.0 $\text{cm}\times 13.3\text{ cm}$,每穴 6~8 株。常规对照处理肥料施用方式为基肥施 337.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=22:10:10)和有机肥 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (有机质 $\geq 90\%$,氮磷钾 $\geq 12\%$,N:P:K=8:3:1),返青肥和分蘖肥均分别施 112.5 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 硫酸铵(N 含量 20.5%),穗肥施 24 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 硫酸钾(K₂O 含量 50%);克盐碱水溶肥处理在常规对照处理施肥的基础上,分别于移栽前和分蘖期各喷施 1 次克盐碱水溶肥,施用量均为 15 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.3.2 测定项目及方法 pH:采用德国产 pH 3000 便携式土壤 pH 计测定。

EC:采用德国产电导率及盐度一体测量仪 PNT 3000 COMBI 进行田间现场测定。

产量及产量构成:在水稻成熟后,每个小区取 1 m^2 样品,用于实际产量的测定,并对标记好的水稻收获后进行产量构成的测定。

稻米品质:采用糙米机、精米机、万深 SC-E 大米外观品质检测仪以及大米食味计(JSWL)测定。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2013 进行数据处理并绘制相关图表,并用 SPSS 22.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 克盐碱水溶肥对稻田 pH 和 EC 的影响

由表 1 可知,与常规对照相比,在分蘖期,喷施克盐碱水溶肥的水体 pH 和 EC 分别显著降低 3.80% 和 4.93%,土壤 EC 显著降低 11.65%,而土壤 pH 无显著变化;在灌浆期,喷施克盐碱水溶肥的水体 pH、EC 和土壤 pH、EC 变化均不显著。由此可知,施用克盐碱水溶肥对水稻生育前期水体的 pH 和 EC 以及土壤 EC 影响较大,而对水稻生育后期 pH 和 EC 的影响较小。

表 1 克盐碱水溶肥对稻田 pH 和 EC 的影响

生育期	处理	水体 pH	土壤 pH	水体 EC/($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	土壤 EC/($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)
分蘖期	常规对照	9.20 a	7.26 a	2.23 a	2.06 a
	克盐碱水溶肥	8.85 b	7.20 a	2.12 b	1.82 b
灌浆期	常规对照	7.83 a	6.80 a	1.49 a	1.33 a
	克盐碱水溶肥	7.81 a	6.84 a	1.50 a	1.27 a

注:不同字母表示在 $P<0.05\%$ 水平差异显著。下同。

2.2 克盐碱水溶肥对水稻籽粒产量及产量构成的影响

由表 2 可知,施用克盐碱水溶肥的籽粒产量较常规对照显著提高 21.94%。与常规对照相比,施用克盐碱水溶肥的有效穗数显著增加

26.51%;结实率增加 2.51%,每穗粒数降低 8.18%,差异均不显著;千粒重降低 3.68%,差异达到显著水平。可见,施用克盐碱水溶肥增产主要是由于有效穗数和结实率增加形成的。

表 2 克盐碱水溶肥对水稻籽粒产量及产量构成的影响

处理	有效穗数/(万株·hm ⁻²)	每穗粒数	千粒重/g	结实率/%	籽粒产量/(t·hm ⁻²)
常规对照	346.71 b	60.29 a	26.37 a	85.74 a	2.37 b
克盐碱水溶肥	438.61 a	55.36 a	25.40 b	87.89 a	2.89 a

2.3 喷施克盐碱水溶肥对稻米品质的影响

由表 3 可知,相对于常规对照,施用克盐碱水溶肥的糙米率、精米率和整精米率均呈下降趋势,差异均不显著;垩白粒率和垩白度分别显著降低 33.49%和 54.95%;食味值略有增加,直链淀粉含量和蛋白质含量均有所降低。可见,施用克盐碱水溶肥有利于提高稻米的外观品质和蒸煮食味品质,而不利于稻米的加工品质和营养品质。

2.4 效益分析

由表 4 可知,与常规对照相比,施用克盐碱水溶肥的产量较常规对照增加 523.65 kg·hm⁻²,水稻价格按照 2.7 元·kg⁻¹ 计算,其效益增加 1 413.86 元·hm⁻²,增加的投入为购买克盐碱水溶肥的费用和喷施的人工费,合计 600 元·hm⁻²,纯收益为 813.86 元·hm⁻²,产投比为 2.36。可见,在苏打盐碱稻田施用克盐碱水溶肥可以获得较好的收益。

表 3 克盐碱水溶肥对稻米品质的影响

处理	加工品质			外观品质		蒸煮食味品质		营养品质
	糙米率/%	精米率/%	整精米率/%	垩白粒率/%	垩白度/%	直链淀粉含量/%	食味值	蛋白质含量/%
常规对照	79.32 a	67.95 a	49.97 a	4.18 a	1.11 a	17.50 a	75.33 a	8.70 a
克盐碱水溶肥	79.14 a	67.08 a	46.19 a	2.78 b	0.50 b	17.40 a	76.33 a	8.60 a

表 4 施用克盐碱水溶肥的效益分析

处理	增加产量/(kg·hm ⁻²)	增加效益/(元·hm ⁻²)	增加投入/(元·hm ⁻²)	纯收益/(元·hm ⁻²)	产投比
常规对照	-	-	-	-	-
克盐碱水溶肥	523.65	1413.86	600.00	813.86	2.36

3 讨论

我国是盐碱地分布较多的国家之一,总面积达到 9.9×10⁷ hm²,主要分布在东北、华北、西北等地区^[3,14],盐碱地作为潜在的后备耕地资源对于我国耕地面积的有效补充与合理开发利用均具有重要意义。东北地区松嫩平原盐碱地是以碳酸根和碳酸氢根为主要盐分的苏打盐渍土,属于内陆苏打盐渍型土壤,现有盐碱地面积 373.3 万 hm² 以上^[6,15]。通过种植水稻,以稻治碱,有效改良盐碱土壤,已成为松嫩平原盐碱治理和土壤改良的一项重要举措。本研究结果表明,在分蘖期,施用

克盐碱水溶肥的水体 pH 和 EC 较常规对照分别显著降低 3.80%和 4.93%,土壤 EC 显著降低 11.65%,而土壤 pH 无显著变化;在灌浆期,施用克盐碱水溶肥的水体 pH、EC 和土壤 pH、EC 变化均不显著。可见,施用克盐碱水溶肥对水稻生育前期水体的 pH 和 EC 以及土壤 EC 影响较大,而对水稻生育后期 pH 和 EC 的影响较小,这可能与前期喷施的克盐碱水溶肥中含有的植物有机酸、克碱因子、氨基肽、土壤活化剂以及锰和锌微量元素等有关。

施用克盐碱水溶肥对盐碱稻田水稻产量产生

重要的影响。本研究结果显示,施用克盐碱水溶肥的水稻产量较常规对照显著提高 21.94%。与常规对照相比,施用克盐碱水溶肥的有效穗数显著增加 26.51%,结实率增加 2.51%。通过以上分析发现,施用克盐碱水溶肥增产主要是由于有效穗数和结实率增加形成的。刘海霞等^[16]通过对轻度盐碱地种植甜瓜研究发现,常规化肥用量减量 20% 配施有机水溶肥,产量及产值均达到最高,效果最佳。可以推断出施用不同类型的水溶肥对盐碱地种植的作物和瓜类都有促进作用。

施用克盐碱水溶肥对盐碱稻田稻米品质产生一定的影响。本研究结果发现,相对于常规对照,施用克盐碱水溶肥的糙米率、精米率和整精米率均呈下降趋势;垩白粒率和垩白度显著降低;食味值增加,直链淀粉含量和蛋白质含量均降低。不难看出,施用克盐碱水溶肥有利于提高稻米的外观品质和蒸煮食味品质,这可能与施用克盐碱水溶肥中含有的植物有机酸、氨基酸以及锰和锌微量元素等有关。

施用克盐碱水溶肥后在盐碱稻田种植水稻具有一定的经济效益。本研究结果显示,施用克盐碱水溶肥可增加纯收益 813.86 元·hm⁻²。该克盐碱水溶肥料具有成本低廉,使用方便,可有效改良盐碱地,改善土壤结构,提高土壤肥力,增强有益菌群活力,降解土壤中盐碱成分,阻碍地下水中钠离子的上溢,加强浅层土壤盐碱物质的分解,缓解可溶性钠对植物根部的危害。可见,克盐碱水溶肥料对于东北苏打盐碱地的改良具有很好的效果,应用前景广阔。

综上所述,对东北松嫩平原苏打盐碱稻田一年的田间试验结果发现,施用克盐碱水溶肥显著降低生育前期水体的 pH 和 EC 以及土壤 EC,显著提高水稻产量,具有良好的经济效益,有利于提高稻米的外观品质和蒸煮食味品质,今后还需要继续深入研究克盐碱水溶肥对松嫩平原苏打盐碱稻田水稻产量、稻米品质的影响及土壤改良效果和相关机理。

4 结论

本研究结果表明,施用克盐碱水溶肥能显著

降低生育前期水体的 pH 和 EC 以及土壤 EC,而对水稻生育后期 pH 和 EC 的影响较小。施用克盐碱水溶肥的籽粒产量较常规对照显著提高,主要是由于有效穗数和结实率增加形成的,且具有良好的经济效益。施用克盐碱水溶肥有利于提高稻米的外观品质和蒸煮食味品质。

参考文献:

- [1] 董文军,来永才,孟英,等.稻田生态系统温室气体排放影响因素的研究进展[J].黑龙江农业科学,2015(5):145-148.
- [2] 赵兰坡,冯君,王宇,等.松嫩平原盐碱地种稻开发的理论与技术问题[J].吉林农业大学学报,2012,34(3):237-241.
- [3] 肖扬,黄立华,杨易,等.长期不同培肥对苏打盐碱地稻田土壤盐碱指标和养分含量的影响[J/OL].农业资源与环境学报,2022;1-10[2022-06-05].<https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0032>.
- [4] 白城日报.昔日“盐碱旱”今日“米粮川”白城市探索盐碱地治理新路径释放生态红利[EB/OL].(2021-03-18)[2022-06-30].<http://xw.bcxww.com/bcxw/2021/0318/64808.html>.
- [5] 姜树坤,王立志,杨贤莉,等.1961—2019 年松嫩平原盐碱地区域水稻生长季气候资源的时空变化特征分析[J/OL].作物杂志,2022;1-7[2022-06-20].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1808.S.20220616.0847.004.html>.
- [6] 隋世江,张海楼,陈从斌.脱硫石膏与硫酸亚铁配施对苏打盐碱水田的改良效果[J].辽宁农业科学,2022(2):79-81.
- [7] 梁飞,李智强,张磊.盐碱地改良技术实用问答及案例分析[M].北京:中国农业出版社,2018.
- [8] 沈婧丽,王彬,许兴.脱硫石膏改良盐碱地研究进展[J].农业科学研究,2016,37(1):65-69.
- [9] 赵哲萱,冉成,孟祥宇,等.秸秆还田对苏打盐碱稻区土壤团聚体分布及有机碳含量的影响[J/OL].吉林农业大学学报,2022;1-14[2022-03-17][2022-05-03].<https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2021.1552>.
- [10] 张婧,陈庆锋,刘伟,等.秸秆还田对盐碱地土壤及作物生长的影响研究进展[J].江苏农业科学,2022,50(11):13-22.
- [11] 王丽娜,杨瑛,杜苏.生物炭施入对盐碱土壤影响的研究现状[J].中国农学通报,2022,38(8):81-87.
- [12] 韩雨航,马玉涛,苑佰飞,等.粪肥对苏打盐碱地土壤有机碳组分特征的影响[J].福建农业学报,2022,37(3):390-397.
- [13] 钟伟,张国峰,梁颖超,等.一种苏打盐碱地种植专用肥的研究[J].当代化工,2022,51(3):740-743.
- [14] 胡立煌,史文竹,项剑,等.生物炭、秸秆和粪肥对滨海盐碱

- 土氮矿化和硝化作用的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(8): 1089-1096.
- [15] 马晨, 马履一, 刘太祥, 等. 盐碱地改良利用技术研究进展 [J]. 世界林业研究, 2010, 23(2): 28-32.
- [16] 刘海霞, 张立勤, 崔云玲. 有机水溶肥对轻度盐碱地甜瓜土改效果及产量影响[J]. 西北园艺(综合), 2022(2): 50-53.

Effects of Water-Soluble Fertilizer that Block Salt and Alkali on Rice Yield and Quality in Soda Saline Alkali Soil of Songnen Plain

DONG Wen-jun^{1,2}, TANG Ao¹, ZHANG Jun³, LIU You-hong¹, MENG Ying¹, LIU Kai^{2,4}, ZHANG Xi-juan¹, LAI Yong-cai^{2,4}

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeast China, Ministry of Agriculture/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology in Cold Region, Harbin 150023, China; 2. Northeast Branch of National Center of Technology Innovation for Saline-Alkali Tolerant Rice, Harbin 150086, China; 3. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Planting rice in saline alkali soil is a main way to use soda saline alkali soil in Songnen Plain. In order to clarify the effect of water-soluble fertilizer that block salt and alkali on alleviating the harm of rice saline alkali. In this study, under the condition of straw returning, a field experiment was performed to investigate the impacts of water-soluble fertilizer that block salt and alkali on rice yield and quality in soda saline alkali land of Songnen Plain in Northeast China before rice transplanting and at tillering stage. The results showed that, compared with the conventional control, the application of water-soluble fertilizer that block salt and alkali significantly decreased the pH and EC of water by 3.80% and 4.93%, and significantly decreased the EC of soil by 11.65%, respectively, at the tillering stage. During the filling stage, the pH and EC of water and pH and EC of soil changed little. The rice grain yield significantly increased by 21.94%, the number of effective panicles significantly increased by 26.51%, the seed setting rate increased by 2.51%, the number of grains per panicle decreased by 8.18%, and the 1 000 grain weight significantly decreased by 3.68%. The brown rice rate, milled rice rate and head rice rate showed a downward trend, the chalky grain rate and chalkiness significantly decreased by 33.49% and 54.95%, respectively. The taste value increased slightly, the amylose content and protein content decreased, and the net income was 813.86 yuan·ha⁻¹. In conclusion, the application of water-soluble fertilizer that block salt and alkali can significantly reduce the pH and EC of water and the EC of soil in the early growth stage, significantly improve rice yield, and obtain better economic benefits, which is beneficial to improve the appearance quality and cooking and eating quality of rice.

Keywords: Songnen Plain; soda saline alkali soil; water-soluble fertilizer that block salt and alkali; rice

协办单位

黑龙江省作物学会

黑龙江省农业科学院水稻研究所

黑龙江省农业科学院克山分院

黑龙江省农业科学院黑河分院

黑龙江省农业科学院绥化分院

黑龙江省农业科学院佳木斯分院

黑龙江省农业科学院牡丹江分院

内蒙古丰垦种业有限公司