

添加燃煤脱硫废弃物和专用改良剂 对碱化土壤和水稻生长的影响

黄菊莹¹,余海龙²,孙兆军¹,张俊华¹,何文寿³

(1.宁夏大学新技术应用研究开发中心,宁夏银川 750021; 2.宁夏大学资环学院,宁夏银川 750021;

3.宁夏大学农学院,宁夏银川 750021)

摘 要:基于大田试验,通过测定土壤理化性质和水稻成活率、株高和产量等,研究了燃煤脱硫废弃物(简称脱硫废弃物)和3种专业改良剂添加对碱化土壤的改良效果。结果表明:脱硫废弃物和改良剂配合施用显著提高了土壤有机质和养分含量,一定程度上降低了碱化度、pH和全盐含量,使水稻成活率、株高和产量分别提高了30.9%、36.3%和64.8%以上;改良剂Ⅲ施用后碱化度降低幅度最大,表现出最高的水稻产量;改良剂Ⅰ的3个施用量水平间,11.25 t/hm²的施用量下有机质和速效K含量显著增加,表现出最高的水稻产量。以上结果表明,脱硫废弃物和改良剂及其配合施用一定程度上改善了土壤性质,从而有利于水稻的生长和发育。此外,改良剂Ⅲ在降低土壤碱化度和提高水稻产量上的效果最佳,但这需要经进一步的试验验证。

关键词:碱化土壤;脱硫废弃物;改良剂;水稻;土壤性质;成活率;产量

中图分类号: S156.4;S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0070-05

脱硫废弃物已被证实是改良碱化土壤的一种有效化学改良剂^[1~7]。利用脱硫废弃物改良盐碱地,不仅解决了脱硫废弃物对环境的二次污染,而且提高了耕地面积,因此具有广泛的应用前景^[8~10]。脱硫废弃物的主要成分为硫酸钙,施入碱化土壤后,可降低土壤碱性,减轻钠离子对作物的毒害^[11]。研究结果表明,在碱化土壤中施用脱硫废弃物明显改善了土壤性质,促进了作物的生长发育;施用脱硫废弃物降低了碱化土壤 pH 和碱化度^[5, 12, 13],增强了水稻的抗逆性^[14],提高了微生物活性^[15]和作物产量^[7]。但由于脱硫废弃物本身也是一种盐分,施用量过大或者管理不善,则会引起大量盐分在土壤中的累积,反而不利于植物生长^[6, 16]。

尽管在碱化土壤中施用脱硫废弃物可以消除或减轻交换性钠离子对作物的危害,但它不能完全解决碱化土壤特有的“粘、板、瘦”等理化特性引起的作物生长不良问题^[11]。因此,如果在施用脱硫废弃物的同时,添加一些可以改善以上理化特性的专用改良剂,可能会取得更有效的改良效果。就此,2008年在宁夏平罗西大滩前进农场,我们进行了脱硫废弃物配合改良剂配方筛选的大田种植水稻试验研究。结果表明,几种改良剂配方中,改良剂Ⅰ施用后水稻产量最高。因此,2009年在验证改良剂Ⅰ的改良效果的同时,我们新增加了两种改良剂配方,即改

良剂Ⅱ和改良剂Ⅲ。同时,设置了改良剂Ⅰ不同施用量田间试验。通过大田试验,本文的目的主要在于验证改良剂Ⅰ的改良效果、评价其它两种改良剂改良碱化土壤种植水稻的效果以及探索改良剂施用技术(施用量)。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在宁夏平罗西大滩前进农场七队。西大滩地处河套平原西南部(106°24′209″E, 38°50′289″N),贺兰山东麓洪积扇边缘,属典型的北温带大陆性气候,年均气温 8.50℃,年均降水量 180 mm,主要集中在 7~9 月,平均海拔 1 100 m。该区域地势平缓低洼,境内分布有典型的碱化土壤(俗称白僵土)^[17]。地下水埋深 1.50 m 左右,主要含硫酸盐、氯化物,并且普遍含有苏打(碳酸钠)。盐分类型主要有 NaCl、Na₂SO₄、Na₂CO₃,土壤质地粘重,透水性差^[17]。2009年春季插秧前(4月中旬),对水稻试验地土壤指标进行了测定,其结果见表1、表2。

1.2 试验设计

采用随机区组排列,设置 7 个处理(表 3),每个处理 4 次重复。试验小区面积均为 60 m²(6 m×10 m),小区间距 1.5 m。供试作物为水稻(D10)。春季大水泡田前,根据试验处理田间排列划定小区分布,

收稿日期:2010-05-17

基金项目:国家科技支撑计划课题(2007BAC08B03)

作者简介:黄菊莹(1980—),女,宁夏盐池人,博士,讲师,主要从事盐碱地改良利用和恢复生态学方面的研究。E-mail:juyinghuang@yahoocom.cn。

按照处理要求施入脱硫废弃物和专用改良剂后,进行翻地、耙地,然后灌水洗盐,播种期灌水进行水稻移栽。试验所用脱硫废弃物由宁夏马莲台电厂提供,其主要成分含量见表 4。试验所用专用改良剂的原料以价格低廉的工农业废弃物为主(通过其主要成分中的阳离子置换碱化土壤中的交换性钠,消除或减轻钠离子过高对水稻生长发育的影响),再配以水稻生长需要的一些营养元素,以不同配比组成 3 种专用改良剂。其中,改良剂 I 为 2008 年田间试验筛选出的改良剂配方,改良剂 II 和改良剂 III 为 2009 年新研制的改良剂配方。

表 1 供试土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量
Table 1 Organic matter, total N, alkali-hydrolyzable N, available P and available K of tested soils

土层 Soil layer (cm)	有机质 Organic matter (g/kg)	全 N Total N (g/kg)	碱解 N Alkali- hydrolyzable N (mg/kg)	速效 P Available P (mg/kg)	速效 K Available K (mg/kg)
0~20	4.56	0.25	24.32	6.31	121.11
20~40	4.01	0.22	21.54	5.01	115.63

表 2 供试土壤碱化度、pH 和全盐
Table 2 ESP, pH and total salt of tested soils

土层 Soil layer (cm)	碱化度 ESP (%)	pH	全盐 Total salt (g/kg)
0~20	28.62	9.22	3.80
20~40	27.11	8.98	3.19

表 3 试验地施用脱硫废弃物和改良剂试验设计
Table 3 Experiment design of FGDG and kriliium addition in expriment field

处理 Treatments	脱硫废弃物(t/hm ²) FGDG	改良剂(型号,t/hm ²) Kriliium(Type)
T1	0	0
T2	24.00	0
T3	24.00	7.50(I)
T4	24.00	7.50(II)
T5	24.00	7.50(III)
T6	24.00	3.75(I)
T7	24.00	11.25(I)

表 4 脱硫废弃物化学成分
Table 4 The chemical composition content of FGDG

项目 Items	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
含量(%) Content	37.67	2.16	0.62	0.58	0.75	0.06	0.10	0.10	0.02	0.03

1.3 试验测定

1.3.1 土壤指标的测定 分别于春施前(2009 年 4 月中旬)和水稻收获后(2009 年 10 月中旬)在每个小区采集表层土壤样品,每个小区采集 3 个土样混匀,风干后过筛进行土壤指标的测定。分别采用重铬酸钾容量法-外加热法测定有机质、开氏法测定全 N、碱解扩散法测定碱解 N、0.5 mol/L NaHCO₃ 法测定速效 P、火焰光度法(NH₄OAc)测定速效 K、酸度计法测定 pH、残渣烘干法测定全盐和乙酸钠交换法测定阳离子交换量^[18]。

1.3.2 植物指标的测定 分别于 2009 年 5 月下旬、8 月下旬和 10 月中旬统计了水稻秧苗成活率、株高和产量。

1.4 数据分析

分别采用 SigmaPlot 10.0 和 SPSS 13.0 数据分析软件对数据进行图表绘制和统计分析(One-way ANOVA, LSD 多重比较)。数据点为平均值±SE。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻生长的影响

脱硫废弃物和改良剂及其配合施用显著提高了水稻成活率,但不同改良剂配方和改良剂 I 不同施用量水平对成活率的影响无显著差异(表 5)。T1 处理下,水稻平均成活率为 55.0%,单施脱硫废弃物后,平均成活率提高了 30.9%,配合 7.5 t/hm² 改良剂施用后,平均成活率提高了 57.8% 以上。

脱硫废弃物和改良剂及其配合施用显著提高了水稻个体株高,但不同改良剂配方对株高影响的差异不显著(表 5)。T1 处理下水稻平均株高为 57.0 cm,单施用脱硫废弃物后,株高提高了 45.6%,配合 7.5 t/hm² 改良剂施用后,株高提高了 41.6% 以上;改良剂 I 的 3 个施用量水平间,11.25 t/hm² 施用量下平均株高为 87.3 cm,显著高于 3.75 t/hm² 施用量下的株高。

脱硫废弃物和改良剂及其配合施用显著提高了水稻产量,且不同改良剂配方和改良剂 I 不同施用量水平对水稻产量有显著影响(图 1)。T1 处理下,水稻平均产量为 2 700.0 kg/hm²,单施脱硫废弃物后,平均产量提高了 1.6 倍,配合 7.5 t/hm² 改良剂施用后,平均产量提高了 2.1 倍以上;3 种改良剂配方间,改良剂 III 增产幅度最高,平均产量为 6 337.5 kg/hm²;改良剂 I 的 3 个施用量水平间,11.25 t/hm² 的施用量下平均产量为 6 150.0 kg/hm²,显著高于其它两个水平下的产量。

表 5 不同处理间水稻成活率、株高的比较

Table 5 Comparison in survival rate and individual height of rice between treatments

项目 Items	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
成活率 Survival rate(%)	55.0A	72.0B	87.5C	88.3C	93.5C	86.8C	88.3C
株高 Individual height(cm)	57.0A	83.0BC	80.7BC	81.7BC	84.3BC	77.7B	87.3C

注:大写字母代表各处理间的差异性,字母相同表示差异不显著($P\geq 0.05$)。下同。

Note: Capital letters represent differences of rice survival rate (individual height) between different treatments, and the same letters indicate insignificant difference($P\geq 0.05$). They are the same in the follows.

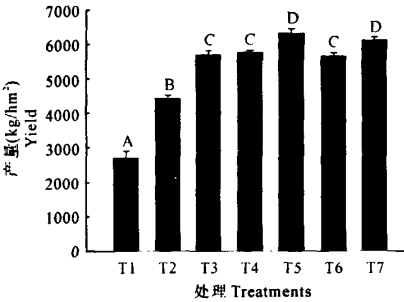


图 1 不同处理间水稻产量的比较

Fig.1 Comparison in yield of rice between treatments

2.2 不同处理对水稻试验地土壤指标的影响

由表 6 可以看出,脱硫废弃物和改良剂及其配合施用提高了水稻试验地土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量,且不同改良剂配方和改良剂 I 不同施用量水平对土壤性状的改良效果也略有不同:单施脱硫废弃物后,土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量分别较对照提高了 19.9%、10.8%、30.2%、16.8%和 11.5%,配合 7.5 t/hm² 改良剂施用后,以上指标分别较对照提高了 30.1%、

37.8%、29.2%、14.3%和 2.9% 以上;3 种改良剂配方,大体上改良剂 II 和改良剂 III 的改良效果略好于改良剂 I,这主要体现在土壤有机质、全 N、速效 P 和速效 K 的变化上;改良剂 I 的 3 个施用量水平间,7.5 t/hm² 的施用量显著提高了土壤有机质和速效 K 含量,但全 N、碱解 N 和速效 P 在 3 个施用量间差异不显著。

脱硫废弃物和改良剂及其配合施用降低了水稻试验地土壤碱化度、pH 和全盐含量(表 6),且不同改良剂配方和改良剂 I 不同施用量水平对以上指标的影响程度也略有不同:单施脱硫废弃物后,土壤碱化度、pH 和全盐含量分别较对照降低了 17.3%、7.3%和 6.5%,配合 7.5 t/hm² 改良剂施用后,以上指标分别较对照降低了 36.5%、7.9%和 23.6% 以上;3 种改良剂配方间,pH 和全盐含量在 3 种改良剂间差异不显著,碱化度在改良剂 III 施用后减低幅度最大,仅为对照的 34.57%;改良剂 I 的 3 个施用量间,pH 和全盐含量在不同施用量间差异不显著,碱化度则随施用量增加呈现出显著降低的变化规律。

表 6 试验地不同处理间土壤特性的比较

Table 6 Comparison in soil property between treatments in experiment field

项目 Items	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
有机质 Organic matter(g/kg)	4.86A	5.83AB	6.33AB	7.24BC	7.05B	4.93A	9.20C
全 N Total N(g/kg)	0.37A	0.41AB	0.51ABC	0.54BC	0.56BC	0.53ABC	0.63C
碱解 N Alkali-hydrolyzable N(mg/kg)	23.38A	30.43AB	35.75BC	43.13C	32.20ABC	38.70BC	41.65C
速效 P Available P(mg/kg)	8.00A	9.34B	9.14AB	9.35B	9.63B	9.06AB	9.40B
速效 K Available K(mg/kg)	107.39A	119.78AB	110.47AB	111.81AB	111.72AB	101.22A	143.58B
碱化度 ESP(%)	29.18A	24.13AB	18.53BC	17.55CE	10.07D	19.59BCE	16.08DE
pH	9.22A	8.55AB	8.16AB	8.24AB	8.49AB	8.00AB	7.82B
全盐 Toal salt(g/kg)	2.16A	2.02AB	1.58BC	1.35C	1.65ABC	1.81ABC	1.62BC

3 讨论与结论

研究表明,脱硫废弃物施用后可以降低土壤碱化度和 pH^[4,19-22],但施用量过大可能会引起盐分累积。因此,在评价施用脱硫废弃物改良碱化土壤

的效果时,必须综合考虑土壤全盐的变化。王金满等研究认为随着脱硫废弃物施用量的增加,土壤中全盐量也相应增加^[23]。肖国举等发现当脱硫废弃物施用量为 3.8 kg/m²和 4.5 kg/m² 时,土壤全盐难以降到 3.0 g/kg 以下。而盐分增大,必然会抑制作

物的出苗和生长^[24]。本研究中,在碱化土壤中单施 24.0 t/hm² 脱硫废弃物后,土壤碱化度、pH 和全盐含量分别降低了 17.3%、7.3% 和 6.5%,未达到显著水平(表 6),与以上研究结果不一致。这可能与本试验中脱硫废弃物施用量较小有关,同时长期泡田、排水有助于盐分的淋洗,因此导致土壤全盐含量降低,这在其它的研究中也有报道^[6,7,24]。尽管施用脱硫废弃物后,土壤碱化度、pH 和全盐含量未显著降低,但由于施用脱硫废弃物提高了土壤中 Ca 和 S 等矿质元素含量^[10,25,26],有利于其它营养元素的协调吸收,因此促进了水稻的生长发育,提高了水稻产量(图 1)。

碱化土壤专用改良剂含有大量腐殖酸类物质,这类物质能与土壤中无机胶体形成有机-无机复合物,具有较强的离子交换能力和吸附能力^[27],能提高土壤盐基交换总量,可降低土壤 pH 和碱化度,提高土壤盐分的淋洗效率,并增加土壤有机质和养分,从而改善土壤理化性质,提高土壤供肥保肥能力,有利于作物生长,并提高作物产量^[28,29,30]。蔡宪杰等通过改良碱化土壤种植烟草的试验发现,施用腐殖酸类肥料可降低土壤 pH,且施用量愈大,降低幅度愈大,同时土壤有机质、速效 N、速效 P、速效 K 升高,土壤容重下降^[28]。张俊华等分析了脱硫废弃物和专用改良剂对宁夏银北龟裂碱土的改良效应,结果表明施用脱硫废弃物和专用改良剂后,土壤有机质和养分含量均有一定程度的增加,而 pH 和碱化度则大幅降低^[31]。本研究中,改良剂和脱硫废弃物配合施用一定程度上提高了土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量,降低了土壤 pH、全盐含量和碱化度(表 6),提高了水稻产量(图 1),与张俊华等^[31]和蔡宪杰等^[28]的试验结果相似。

总体而言,3 种配方在提高土壤养分含量和降低 pH、全盐含量等方面的作用差异不显著,但改良剂Ⅲ在降低土壤碱化度方面的效果要好于其它两种改良剂,其施用后土壤碱化度降低至 10.07%,使水稻增产幅度最高,进一步证明作物的生长发育与土壤碱化度呈负相关^[32]。以上结果表明,在宁夏平罗西大滩前进农场,碱化度可能是限制水稻生长的主要因子。同时,改良剂Ⅲ的配方较改良剂Ⅰ和改良剂Ⅱ的配方增加了一些有利于水稻生长的营养元素,这对于水稻的生长发育也可能起到了一定的促进作用。此外,由于改良剂Ⅲ是 2009 年新研制的配方,因此还需要进一步的试验确定其施用量。但综合本研究结果和张俊华^[31]对油葵的试验结果,同时将改良剂成本考虑进去,我们认为以略高于 3.75

t/hm²的施用量为宜。

综上所述,脱硫废弃物和改良剂配合施用,改善了碱化土壤性状,促进了水稻生长发育。3 种改良剂配方中,改良剂Ⅲ在降低土壤碱化度和提高水稻产量等方面效果好于其它两种改良剂,值得今后在生产实践中推广应用。但同时应综合考虑其改良效果和经济成本,最终确定其最佳的施用技术。

参考文献:

- [1] Chun S, Nishiyama M, Matsumoto S. Sodic soil reclaimed with by product from flue gas desulfurization: corn production and soil quality [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 114(3): 453—459.
- [2] Desutter T M, Cihacek L J. Potential agricultural uses of flue gas desulfurization gypsum in the northern great plains [J]. *Agronomy Journal*, 2009, 101(4): 817—825.
- [3] 李彦,衣怀峰,赵博,等.燃煤烟气脱硫石膏在新疆盐碱土壤改良中的应用研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1682—1685.
- [4] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains [J]. *Soil & Sediment Contamination*, 2004, 13(1): 65—803.
- [5] 陈欢,王淑娟,陈昌和,等.烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 38—42.
- [6] 王金满,杨培岭,任树梅,等.烟气脱硫副产物改良碱性土壤过程中化学指标变化规律的研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(1): 98—105.
- [7] 肖国举,罗成科,张峰举,等.燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤的施用量[J]. *环境科学研究*, 2010, (6): 762—767.
- [8] Sajwan K S, Punshon T J, Seaman J C. Production of coal combustion products and their potential uses [J]. *Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues*, 2006: 3—9.
- [9] 王方群,原水涛,齐立强.脱硫石膏性能及其综合利用[J]. *粉煤灰综合利用*, 2004, (1): 41—44.
- [10] Clark R B, Ritchey K D, Baligar V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land [J]. *Fuel*, 2001, 80(6): 821—828.
- [11] 王遵亲. *中国盐渍土* [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [12] 马雪莲,罗成科,许强,等.燃煤烟气脱硫废弃物对宁夏银川北部中度盐碱地及油葵生长发育的影响[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(10): 3046—3047.
- [13] 李茜,孙兆军,秦萍,等.燃煤烟气脱硫废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 70—73.
- [14] 白海波,毛桂莲,李晓慧,等.脱硫废弃物对盐碱地水稻幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(3): 122—126.
- [15] Lee Y B, Bigham J M, Dick W A, et al. Impact of flue gas desulfurization-calcium sulfite and gypsum on soil microbial activity and wheat growth (In Chinese) [J]. *Soil Science*, 2008, 173: 534—543.
- [16] 罗成科,肖国举,张峰举,等.脱硫石膏改良中度苏打盐渍土壤

- 用量的研究[J].生态与农村环境学报,2009,25(3):44—48.
- [17] 李茜,孙兆军,秦萍.宁夏盐碱地现状及改良措施综述[J].安徽农业科学,2007,35(33):10808—10810.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [19] 王金满,杨培岭,张建国,等.脱硫石膏改良碱性土壤过程中的向日葵苗期盐响应研究[J].农业工程学报,2005,21(9):33—37.
- [20] Sakai Y, Matsumoto S, Nitta Y, et al. Alkali soil reclamation in China using gypsum produced in flue gas desulfurization process[J]. Journal of Global Environment Engineering, 2002, 8:55—66.
- [21] 王昶,黄晓明,酒井裕司,等.脱硫副产物在碱性土壤改良中的应用[J].天津科技大学学报,2009,24(1):39—43.
- [22] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等.脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J].生态学杂志,1999,18(1):25—29.
- [23] 王金满,杨培岭,石懿,等.脱硫副产物对改良碱性土壤的理化性质与作物生长的影响[J].水土保持学报,2005,19(3):34—37.
- [24] 肖国举,罗成科,白海波,等.脱硫石膏改良碱性土壤种植水稻施用量研究[J].生态环境学报,2009,18(6):2376—2380.
- [25] 李淑仪,蓝佩玲,徐胜光,等.燃煤烟气脱硫副产物在酸性土壤的农业资源化利用[J].生态科学,2003,22(3):222—226.
- [26] 徐胜光,李淑仪,廖新荣,等.花生施用燃煤烟气脱硫副产物研究初报[J].土壤与环境,2001,10(1):23—26.
- [27] 陈振德,何金明,李祥云,等.施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究[J].中国生态农业学报,2007,(1):52—54.
- [28] 蔡宪杰,杨义方,马水建,等.腐殖酸类肥料对碱性植烟土壤pH及烤烟产量质量的影响[J].中国农学通报,2008,24(6):261—265.
- [29] 靳志丽,刘国顺,聂新柏.腐殖酸对土壤环境和烤烟矿质吸收影响的研究[J].中国烟草科学,2002,(3):15—18.
- [30] 徐全辉,高仰,赵强,等.活性腐殖酸有机肥对水稻产量养分吸收的影响[J].安徽农业科学,2010,38(8):3951—3952.
- [31] 张俊华,孙兆军,贾科利,等.燃煤烟气脱硫废弃物及专用改良剂改良龟裂碱土的效果[J].西北农业学报,2009,18(5):208—212.
- [32] 孟祥川,宫伟光,刘东兴.盐渍土壤化学性质与地上生物量空间异质性的关系[J].防护林科技,2008,(3):44—46.

Effects of flue gas desulfurization gypsum and kriliium addition on alkali soil and rice growth

HUANG Ju-ying¹, YU Hai-long², SUN Zhao-jun¹, ZHANG Jun-hua¹, HE Wen-shou³

(1. Center of New Technology Application and Research, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. College of Recourses and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

3. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Based on field experiment, changes in soil properties, including organic matter, total N, alkali-hydrolyzable N, available P, available K, pH, exchangeable sodium percentage (ESP) and total salt, and rice characters including survival rate, individual height and yield were investigated to study the effects of flue gas desulfurization gypsum (FGDG) and kriliium addition on alkali soil and their indirect effects on rice growth. The results showed that: the addition of FGDG and kriliium increased greatly soil organic matter and nutrients content, and increased the survival rate, individual height and yield of rice by over 30.9%, 36.3% and 64.8%, respectively, while they decreased soil ESP, pH and total salt content at a certain extent; among three Kriliium types, Type III had the most significant effect on soil ESP decrease, possibly resulting in the highest yield of rice; between three levels of Kriliium Type I application, the plant with 11.25 t/hm² of addition had the highest organic matter and available K content, which might be more favorable for rice growth, showing the highest yeild. Our findings indicated that the addition of FGDG and kriliium improved soil properties, possibly being conducive to rice growth. Additionally, Kriliium Type III decreased soil ESP greatly, which resulted directly in high yield of rice. However, it still needs further experiment to test the effect of Kriliium Type III and its application technique.

Keywords: alkali soil; flue gas desulfurization gypsum; Kriliium; rice; soil property; survival rate; yield