

脱硫石膏施用时期和深度对改良碱化土壤效果的影响

肖国举, 罗成科, 张峰举, 秦 萍

(宁夏大学新技术应用研究开发中心, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 选择宁夏西大滩碱化土壤, 以油葵为供试作物, 采用两因素随机区组设计, 进行脱硫石膏改良碱化土壤的田间试验研究。结果表明, 脱硫石膏施用时期和施用深度不同, 对改良土壤碱性和促进作物生长发育的效果不同。秋季施用较春季施用油葵出苗率提高 38.0%, 产量提高 39.0%; 深施(25 cm)脱硫石膏较浅施(10 cm)油葵出苗率提高 6.3%, 产量提高 6.0%。秋季深施较秋季浅施、春季深施、春季浅施油葵出苗率分别提高 12.0%、25.6%、21.5%, 产量分别提高 14.4%、32.7%、29.9%, 表明秋季深施较秋季浅施、春季深施及春季浅施对促进油葵生长发育, 提高产量效果更显著。

关键词: 脱硫石膏; 碱化土壤; 施用时期; 施用深度; 油葵; 出苗率; 产量

中图分类号: S156.4⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0197-07

近年来燃煤电厂引入烟气脱硫技术以减少 SO₂ 排放。现行的脱硫技术绝大多数以钙基物质作为吸收剂, 最终生成一种脱硫副产物(脱硫石膏)。利用脱硫石膏改良盐碱地引起了国内外的广泛关注。美国利用脱硫石膏改良酸性土壤的研究起步较早。例如, Chen^[1]研究了脱硫石膏改良酸性土壤的效果, 结果表明经改良后的土壤上种植紫花苜蓿产量有所增加; Crews 等^[2]对酸性森林土壤施用脱硫石膏后的改良情况进行试验研究, 结果表明脱硫石膏能促进橡树的生长。英国、日本、印度利用脱硫石膏改良碱性土壤。英国土壤学家 Frenke H I 进行脱硫石膏溶解及碱化土壤的改良研究, 试验结果表明施用脱硫石膏对交换性钠的去除, 可溶盐的淋洗效率, 以及土壤的导水率有直接的影响^[3]。日本东京大学与沈阳农业大学合作, 研究脱硫石膏对我国东北沈阳市康平县碱化土壤的改良效果, 结果表明加入 0.5%~1.0% 的脱硫石膏能显著提高玉米的产量^[4]。印度盐碱地的试验表明, 脱硫石膏的加入使碱化土壤 pH 值由 8.8 降为 7.5, 从而使坚果的产量增加近 3 倍^[5]。

预计到 2010 年我国脱硫石膏的产量将达到 3.0 × 10⁶ t 以上^[6,7], 对生态环境造成潜在的污染威胁。同时, 我国盐渍土面积约 3.46 × 10⁷ hm², 耕地盐碱化 7.6 × 10⁶ hm², 近 1/5 耕地发生盐碱化^[8]。因此,

利用脱硫石膏改良盐碱地, 对于确保国家耕地面积、粮食安全、生态安全具有十分重大的战略意义。2000 年以来, 宁夏大学、清华大学、内蒙古农业大学等单位在内蒙古土默川平原、宁夏西大滩等地开展了利用脱硫石膏改良盐碱地的田间试验研究, 结果表明脱硫石膏能够大大降低土壤 pH 值、碱化度和可溶性 Na⁺, 提高作物的产量, 并初步确定了利用脱硫石膏改良碱化土壤的施用量^[9,10]。利用脱硫石膏改良碱化土壤施用量的研究报道较多^[11,12], 但是关于施用时期和施用深度的研究报道较少。为此, 在 2007~2008 年期间, 选择具有典型代表性的宁夏西大滩作为碱化土壤的试验基地, 进行脱硫石膏施用时期和施用深度的研究, 目的是为利用脱硫石膏改良碱化土壤的大面积示范推广提供参考依据。

1 试验设计

1.1 试验区概况

西大滩位于宁夏贺兰山东麓洪积扇边缘, 属于黄河中上游灌溉地区, 地势平缓低洼, 境内分布有典型代表性的碱化土壤(俗称白僵土)。一般地下水埋深 1.5 m 左右, 地下水主要含硫酸盐、氯化物, 并且普遍含有苏打。土壤碱化度在 15%~60% 之间, 总碱度在 0.20~0.65 cmol/kg 之间, pH 在 8.0~10.4 之间, 全盐在 2.5~6.5 g/kg 之间, 盐分类型主要有

收稿日期: 2009-03-15

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAC08B01)

作者简介: 肖国举(1972—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事农业生态学、环境生态学等方面的教学与研究工作。E-mail: xiaoguoju1972@163.com。

NaCl 、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 , 土质粘重, 透水性差。

1.2 试验设计

试验田选择多年未开垦的盐碱荒地。试验采用两因素随机区组设计, 两因素为脱硫石膏的施用时期和施用深度。施用时期, 分秋季施用和春季施用两个水平; 施用深度, 分浅施(10 cm)和深施(25 cm)两个水平, 共 4 个处理: 即秋季深施、秋季浅施、春季深施、春季浅施, 重复 4 次。小区长 10 m、宽 8 m, 面积 80 m²。小区间距 1.5 m, 保护行宽 4 m。脱硫石膏的施用量均为 30 t/hm²。试验采用内蒙古自治区海勃湾电厂的脱硫石膏, 主要成分是 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 颜色微黄, 略偏碱性, 颗粒细小松散均匀, 粒径主要集中在 30~60 μm, 含有 12% 游离水。

根据试验设计的要求, 2007 年 10 月 15 日对秋季施用脱硫石膏的试验小区, 脱硫石膏一次性人工均匀施于地表后, 结合犁地与土层 10 cm(浅施)或 25 cm(深施)混合均匀, 再进行冬季灌水。2008 年 4 月 3 日对需要春季施用脱硫石膏的试验小区, 脱硫石膏一次性人工均匀施于地表, 播前结合整地与土层 10 cm(浅施)或 25 cm(深施)充分混合均匀。在 4 月 4 日采取人工开沟种植油葵, 品种是 KWS-203, 播种量 7.5 kg/hm², 行距 50 cm, 株距 30 cm。播前施尿素 112.5 kg/hm², 磷酸二铵 187.5 kg/hm², 普通过磷酸钙 150.0 kg/hm²。在油葵苗期和开花期各灌水 1 次。8 月 25 日人工收获。

1.3 测定指标

2007 年 10 月 15 日, 在试验田取土样, 测定土壤(0~60 cm)碱化度、总碱度和 pH 值, 分别为 36.5%、0.45 cmol/kg 和 9.4, 属于典型的碱化土壤。在油葵苗期、开花期和成熟期分别测定出苗率、株高、根数、叶面积、植株鲜重、果盘直径等生长发育指标。油葵收获时按小区实测产量, 并测定土壤(0~60 cm)碱化度、总碱度和 pH 值等土壤碱性指标。

2 试验结果

2.1 对土壤碱化性质的影响

利用脱硫石膏改良盐碱土壤的原理, 就是利用脱硫石膏中含有的 Ca^{2+} 对土壤胶体吸附的 Na^+ 进行置换, 并通过淋洗将其排出土体, 以达到治碱改土的目的^[13]。由于土壤胶体粒子长期与盐碱土中的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaCl 等接触, 成为含 Na^+ 胶体粒子。含 Na^+ 胶体粒子在土壤中有较好的分散性, 能散布在土壤颗粒之间的细缝中, 形成致密、不透水的板结土层。不易透水的含 Na^+ 板结土层掺入石膏

后, 因 Ca^{2+} 比 Na^+ 对土壤中胶体粒的吸附能力强, 原已吸附的 Na^+ 会和土壤溶液中的 Ca^{2+} 发生离子交换。而含 Ca^{2+} 胶体微粒的外层不吸附水分子, 胶体微粒自己能互相靠近而聚团, 土壤就不会板结^[14]。这些过程反复进行后, 土壤就形成团粒结构, 从而有利于农作物根系生长, 吸收土壤水分和养分。

脱硫石膏的溶解对改良盐碱土壤的效果有着直接的关系。凡是能促进石膏溶解量的土壤条件, 必然有利于促进土壤溶液中物理化学反应, 提高改良速度。通过研究不同的盐分含量、温度、pH 条件对脱硫石膏溶解量的影响, 结果表明脱硫石膏溶解所需要的时间与石膏粒径和温度有关; 在相同温度条件下, 脱硫石膏溶解量与盐分的含量有关; 脱硫石膏的溶解度受到土壤酸碱度的影响, pH 值增大, 石膏的溶解度降低^[15]。任坤等通过室内土柱混合置换试验探讨了不同 CaSO_4 浓度水平下土壤淋溶液的理化性质的变化规律, 结果显示碱化土壤经过不同浓度的 CaSO_4 溶液淋溶, 土壤的 pH 值、电导率和饱和水力传导度均得到了不同程度的降低。同时 CaSO_4 溶液浓度高的淋溶效果要比浓度低的变化明显, 碱化土壤改良效果显著^[16]。脱硫石膏施用时期和深度不同, 必然影响到脱硫石膏溶解的土壤条件, 进而影响到脱硫石膏溶解度, 最终影响到改良的效果。

试验研究表明脱硫石膏施用时期和施用深度不同, 土壤碱化度、总碱度和 pH 值降低的值不同。秋季施用脱硫石膏较春季施用对降低土壤碱化度、总碱度和 pH 的效果更显著(表 1)。秋季施用脱硫石膏降低土壤碱化度、总碱度和 pH 值分别为 13.8%、0.28 cmol/kg、0.66; 春季施用降低土壤碱化度、总碱度和 pH 值分别为 11.6%、0.19 cmol/kg、0.60。深施脱硫石膏较浅施更有利于降低土壤碱化度、总碱度和 pH。深施脱硫石膏降低土壤碱化度、总碱度和 pH 分别为 11.9%、0.18 cmol/kg、0.53; 浅施降低土壤碱化度、总碱度和 pH 分别为 11.7%、0.17 cmol/kg、0.48。

研究结果表明, 秋季深施脱硫石膏较秋季浅施、春季深施、春季浅施对降低土壤碱化度、总碱度和 pH 的效果不相同。秋季深施较秋季浅施、春季深施、春季浅施对降低土壤碱化度、总碱度和 pH 效果更显著。秋季深施降低土壤碱化度、总碱度和 pH 分别较秋季浅施提高 15.5%、11.5%、6.1%, 较春季深施提高 22.5%、21.1%、18.5%, 较春季浅施提高 25.0%、23.1%、16.8%(图 1~3)。

表 1 脱硫石膏不同施用时期和施用深度对土壤碱化性质的影响

Table 1 Effects of desulfurized gypsum applied in different periods and depths on characteristics of alkaline soil

土壤碱化指标 Index of soil alkalization	取样层次 Sampling layer	施用时期 Applied period		施用深度 Applied depth	
		春施 Applied in spring	秋施 Applied in autumn	浅施 Shallowly applied	深施 Deeply applied
碱化度降低 Decrease of alkalization degree (%)	0~20 cm	19.0 _a	23.2 _b	18.2 _A	18.4 _B
	20~40 cm	10.3 _a	12.3 _b	11.3 _A	11.6 _A
	40~60 cm	5.6 _a	5.9 _a	5.6 _A	5.6 _A
	平均 Average	11.6 _a	13.8 _b	11.7 _A	11.9 _A
总碱度降低 Decrease of M-alkalinity degree (cmol/kg)	0~20 cm	0.26 _a	0.44 _b	0.22 _A	0.24 _A
	20~40 cm	0.21 _a	0.28 _b	0.19 _A	0.18 _A
	40~60 cm	0.10 _a	0.11 _a	0.10 _A	0.11 _A
	平均 Average	0.19 _a	0.28 _b	0.17 _A	0.18 _A
pH 减低 Decrease of pH value	0~20 cm	0.85 _a	1.00 _b	0.75 _A	0.90 _B
	20~40 cm	0.74 _a	0.76 _a	0.56 _A	0.58 _A
	40~60 cm	0.20 _a	0.23 _b	0.12 _A	0.12 _A
	平均 Average	0.60 _a	0.66 _b	0.48 _A	0.53 _B

注:每行中不同大小写字母代表达到显著性差异 ($P<0.05$)。下同。
Note: Different letters within each row mean significant difference at $P<0.05$. The same as blow.

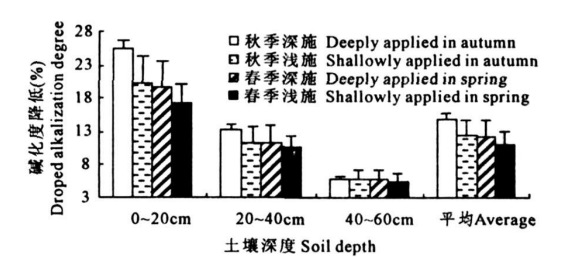


图 1 秋季深施、秋季浅施、春季深施和春季浅施对土壤碱化度的影响

Fig.1 Effects of desulfurized gypsum deeply and shallowly applied in autumn and spring on the degree of soil alkalization

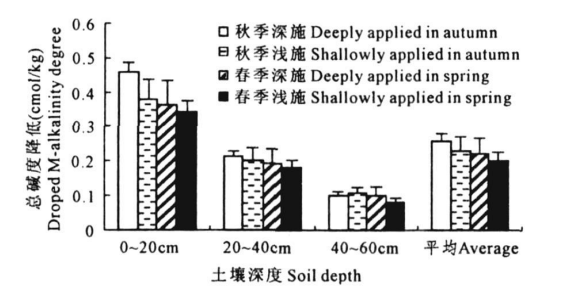


图 2 秋季深施、秋季浅施、春季深施和春季浅施对土壤总碱度的影响

Fig.2 Effects of desulfurized gypsum deeply and shallowly applied in the autumn and spring on the soil total alkalinity

长发育^[17,18]。脱硫石膏在降低土壤碱化度和 pH 值的同时,其所含高价离子的介入可降低土壤胶体表面由于负电荷相互排斥而产生的电位势,促进土壤胶体由于相互吸附而凝聚,有利于土壤团粒结构的生成,增加孔隙度,降低土壤容重,提高土壤持水性,改善作物根系的生长环境,从而促进作物的生长发育^[19]。王金满等通过盆栽试验表明,施用脱硫石膏可增加向日葵的出苗率^[20]。吴保庆等通过盆栽试验研究了脱硫石膏对盐胁迫下紫花苜蓿生理的影响,结果表明脱硫石膏可明显提高盐胁迫下紫花苜蓿的生理机能,有效提高紫花苜蓿的生物量^[21]。

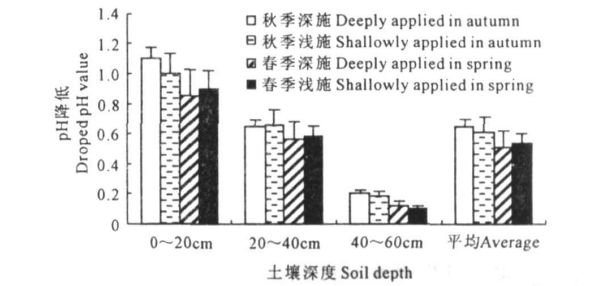


图 3 秋季深施、秋季浅施、春季深施和春季浅施对土壤 pH 的影响

Fig.3 Effects of desulfurized gypsum deeply and shallowly applied in autumn and spring on soil pH

2.2 对油葵生长发育的影响

由于脱硫石膏为 CaSO_4 和 CaSO_3 的混合物,其性质与天然石膏相类似,含有丰富的 S、Ca、Si 等植物必需或有益的矿质营养,能够有效提高作物的生

试验研究表明脱硫石膏施用时期和施用深度不同,对促进油葵生长发育的效果不同。秋季施用脱硫石膏较春季施用对促进油葵的株高、株径、叶面积、植株鲜重、鲜根重、果盘直径的效果更显著。同

样,深施脱硫石膏较浅施更有利于促进油葵的生长发育(表 2)。同时,试验结果表明,秋季深施脱硫石膏较秋季浅施、春季深施、春季浅施对促进油葵生长发育的效果不相同。秋季深施较秋季浅施、春季深施、春季浅施对促进油葵生长发育的效果更显著(表 3)。

表 2 脱硫石膏不同施用时期与施用深度对油葵生长发育的影响

Table 2 Effects of desulfurized gypsum applied in different periods and depths on the growth and yield of sunflower

生长期 Growth period	生长指标 Growth index	施用时期 Applied period		施用深度 Applied depth	
		春施 Applied in spring	秋施 Applied in autumn	浅施 Shallowly applied	深施 Deeply applied
苗期 Seedling stage	株高(cm) Plant height	2.92 _a	3.45 _b	2.86 _A	2.89 _A
	株径(cm) Plant diameter	0.18 _a	0.21 _b	0.18 _A	0.19 _A
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	405.6 _a	456.8 _b	400.8 _A	410.3 _A
	植株鲜重(g) Plant fresh weight	2.52 _a	2.84 _b	2.51 _A	2.50 _A
	鲜根重(g) Fresh root weight	0.54 _a	0.56 _a	0.48 _A	0.49 _A
开花期 Flowering stage	株高(cm) Plant height	130.4 _a	134.8 _b	128.8 _A	131.6 _B
	株径(cm) Plant diameter	0.75 _a	0.76 _a	0.74 _A	0.74 _A
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	1225.6 _a	1405.8 _b	1134.8 _A	1194.6 _A
	植株鲜重(g/株) Plant fresh weight	80.8 _a	89.6 _b	82.4 _A	81.5 _A
	鲜根重(g) Fresh root weight	14.5 _a	16.6 _b	13.8 _A	14.9 _A
成熟期 Mature stage	株高(cm) Plant height	132.2 _a	137.5 _b	129.2 _A	133.5 _B
	株径(cm) Plant diameter	0.76 _a	0.79 _a	0.76 _A	0.75 _A
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	1216.5 _a	1425.6 _b	1120.6 _A	1112.4 _A
	植株鲜重(g/株) Plant fresh weight	98.8 _a	109.6 _b	96.8 _A	96.8 _A
	鲜根重(g) Fresh root weight	16.5 _a	18.4 _b	15.6 _A	16.8 _A
	果盘直径(cm) Fruit plate diameter	4.21 _a	4.65 _b	3.84 _A	4.03 _A

2.3 对油葵出苗率和产量的影响

脱硫石膏能够改善土壤理化性质,给作物提供良好的土壤环境,促进作物生长发育和提高作物产量的效果。脱硫石膏可以中和土壤碱性,降低土壤 pH 值和碱化度,从而达到改良碱化土壤的作用。在酸性土壤上施用脱硫石膏对豆科作物的影响研究表明,以大豆、花生为代表的豆科作物施用脱硫石膏后,植株高度和主根长度受抑制,而结实率和生物量显著提高,即脱硫石膏有矮化植株、减少消耗、提

高产量的作用^[22]。施用脱硫石膏改良碱化土壤后种植玉米,玉米的出苗率和产量明显提高,且土壤碱化度越大,出苗率越高,产量增幅越大。特别是重度碱化土壤施用脱硫石膏玉米籽粒产量达到7 300.5 kg/hm²,比未施用脱硫石膏产量提高 6 679.5 kg/hm²^[10]。施用脱硫石膏改良碱化土壤后种植甜高粱,其出苗率达到 78.41%,产量(包括籽粒和秸秆鲜重)达到18 977.7 kg/hm²^[23]。

表 3 秋季深施, 秋季浅施, 春季深施和春季浅施对油葵生长发育的影响

Table 3 Effects of desulfurized gypsum deeply and shallowly applied in autumn and spring on the growth and yield of sunflower					
生长期 Growth period	生长指标 Growth index	秋季深施 Deeply applied in autumn	秋季浅施 Shallowly applied in autumn	春季深施 Deeply applied in spring	春季浅施 Shallowly applied in spring
苗期 Seedling stage	株高(cm) Plant height	3.54 _a	3.02 _b	2.86 _a	2.89 _a
	株径(cm) Plant diameter (cm)	0.23 _a	0.21 _a	0.18 _b	0.19 _b
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	455.6 _a	406.8 _b	400.8 _b	410.3 _b
	植株鲜重(g) Plant fresh weight	2.82 _a	2.44 _b	2.51 _a	2.50 _a
	鲜根重(g) Fresh root weight	0.58 _a	0.56 _a	0.48 _b	0.49 _b
开花期 Flowering stage	株高(cm) Plant height	140.4 _a	124.8 _b	128.8 _b	131.6 _b
	株径(cm) Plant diameter	0.85 _a	0.78 _a	0.75 _a	0.74 _a
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	1325.1 _a	1178.8 _b	1134.2 _b	1174.6 _b
	植株鲜重(g) Plant fresh weight	84.3 _a	76.2 _b	75.4 _b	76.0 _b
	鲜根重(g) Fresh root weight	15.5 _a	14.6 _a	13.8 _a	14.9 _a
成熟期 Mature stage	株高(cm) Plant height	142.2 _a	137.5 _a	129.2 _a	133.5 _a
	株径(cm) Plant diameter	0.86 _a	0.75 _b	0.76 _b	0.75 _b
	单株叶面积(cm ²) Leaf area per plant	1315.5 _a	1145.6 _b	1123.6 _b	1111.4 _b
	植株鲜重(g) Plant fresh weight	108.8 _a	96.6 _b	95.8 _b	96.3 _b
	鲜根重(g) Fresh root weight	17.5 _a	16.4 _b	15.5 _b	16.3 _b
	果盘直径(cm) Fruit plate diameter	4.95 _a	4.45 _b	4.00 _c	4.05 _c

试验研究表明, 脱硫石膏施用时期和施用深度不同, 对油葵出苗率和产量的效果不同。秋季施用脱硫石膏较春季施用效果显著, 深施脱硫石膏较浅施效果明显。秋季施用脱硫石膏较春季施用提高油葵出苗率 38.0%, 深施脱硫石膏较浅施提高油葵出苗率 6.3%(图 4)。秋季施用脱硫石膏较春季施用提高油葵产量 39.0%; 深施脱硫石膏较浅施提高油葵产量 6.0%(图 5)。

研究表明, 秋季深施脱硫石膏较秋季浅施、春季深施、春季浅施对提高油葵出苗率和产量的效果不同。秋季深施较秋季浅施、春季深施、春季浅施对提高油葵出苗率和产量的效果更明显。秋季深施与秋

季浅施、春季深施、春季浅施比较, 油葵出苗率分别提高了 12.0%、25.6%、21.5%; 产量分别提高了 14.4%、32.7%、29.9%(表 4)。

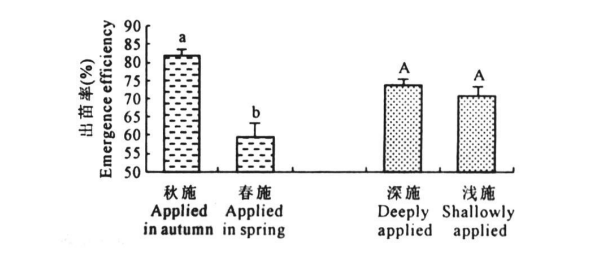


图 4 脱硫石膏不同施用时期和施用深度对油葵出苗率的影响

Fig. 4 Effects of desulfurized gypsum applied in different periods and depths on the seedling rate of sunflower

表 4 脱硫石膏施用时期和施用深度不同组合对油葵出苗率和产量的影响

Table 4 Effects of desulfurized gypsum deeply and shallowly applied in the autumn and spring on the seedling rate and yield of sunflower

项目 Items	秋季深施 Deeply applied in autumn	秋季浅施 Shallowly applied in autumn	春季深施 Deeply applied in spring	春季浅施 Shallowly applied in spring
出苗率 Emergence efficiency (%)	81.9 _a	73.1 _b	60.9 _c	64.7 _c
产量 Yield(kg/hm ²)	1302 _a	1068 _b	822 _c	912 _c

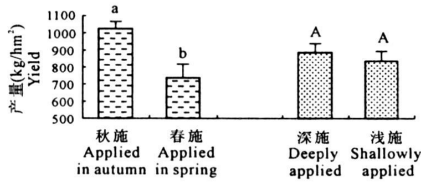


图 5 不同施用时期和施用深度对油葵产量的影响

Fig.5 Effects of desulfurized gypsum applied in different periods and depths on the yield of sunflower

3 结论与建议

脱硫石膏施用时期和施用深度不同,对降低土壤碱化度、总碱度和 pH 值,以及提高油葵抗逆性,促进油葵生长发育和产量的效果不同。试验研究表明,秋季施用脱硫石膏较春季施用对降低土壤碱性,促进油葵生长发育和提高产量效果更显著。深施脱硫石膏较浅施更有利于降低土壤碱性,促进油葵生长发育和提高产量。秋季施用较春季施用提高油葵出苗率 38.0%,产量 39.0%;深施(25 cm)脱硫石膏较浅施(10 cm)效果更明显,深施较浅施提高油葵出苗率 6.3%,产量 6.0%。秋季深施脱硫石膏较秋季浅施、春季深施、春季浅施对降低土壤碱性、促进油葵生长发育和提高产量效果更显著。在宁夏西大滩,一般秋季作物收获后对土壤进行深耕(深度 25 cm),并进行冬季灌水。因此,结合农业生产的实际情况,在利用脱硫石膏改良碱化土壤时,建议采取秋季深施脱硫石膏,并进行冬灌。

参考文献:

[1] Chen L. Flue gas de-sulfurization by products additions to acid soil; Alfalfa productivity and environment quality[J]. Environmental Pollution, 2001, 114(2):161-168.

[2] Crews J T, Dick W A. Liming acid forest soils with flue gas de-sulfurization byproduct: Growth of northern red oak and leach ate water quality[J]. Environmental Pollution, 1998, 103(1):55-61.

[3] Frenke H L. Solution of gypsum and improvement of sodic soil aroused by element exchange[J]. Journal of Soil Science, 1989, 40(3):599-611.

[4] 李跃进, 苗青旺, 陈昌和, 等. 土壤碱化和化学改良对土壤团粒结构的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1):136-139.

[5] 徐胜光, 李淑仪, 廖新荣. 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.

[6] 王方群, 原永涛, 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.

[7] 徐旭常, 陈昌和, 王淑娟. 西部燃煤电站开发与生态环境[J]. 节能与环保, 2003, (5):5-7.

[8] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2):68-71.

[9] 李跃进, 乌力更, 芦永兴, 等. 燃煤烟气脱硫副产物改良碱化土壤田间试验研究[J]. 华北农学报, 2004, 19:10-15.

[10] 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.

[11] Wendell R R. High calcium flue gas de-sulfurization products reduce aluminum toxicity in an Appalachian soil[J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(6):1401-1410.

[12] Stehouwer R C, Sutton P, Dick W A. Transport and plant uptake of soil-applied dry flue gas de-sulfurization by-products[J]. Soil Science, 1996, 161:562-574.

[13] Choudhary O P, Josana A S, Bajwaa M S, et al. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farm-yard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions[J]. Field Crops Research, 2004, 87:103-116.

[14] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas de-sulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains[J]. Soil & Sediment Contamination, 2004, 13(1):65-80.

[15] Shainber G I, Sumner M E, Miller W P. Use of gypsum on soils: a review[J]. Advances in Soil Science, 1989, 9:1-11.

[16] 任 坤, 任树梅, 杨培岭. CaSO₄ 在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(4):77-80.

[17] 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.

[18] 李焕珍, 徐玉佩, 杨伟奇. 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.

[19] 王金满, 杨培岭, 张建国. 脱硫石膏改良碱化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] 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, 2003, 42(1):98-105.

[21] 吴保庆, 郭洪海. 烟气脱硫石膏对盐胁迫下紫花苜蓿生理的影响[J]. 山东农业科学, 2008, (2):45-47.

[22] 李淑仪, 蓝佩玲, 徐胜光. 燃煤烟气脱硫副产物在酸性土壤上施用的效果——以豆科作物为例[J]. 生态环境, 2003, 12(3):263-268.

[23] 秦 萍, 肖国举, 罗成科, 等. 燃煤电厂脱硫石膏改良碱化土壤种植甜高粱的施用量研究[J]. 现代农业科学, 2008, 12:21-26.

Impacts of the applied period and depth of desulfurized gypsum on improving the alkaline soil

XIAO Guo-jū, LUO Cheng-ke, ZHANG Feng-ju, QIN Ping
(*New Technology R & D Center, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China*)

Abstract: A research on the period and depth of desulfurized gypsum being used in improving the alkalized soil is taken by applying desulfurized gypsum and planting oil sunflower on a piece of typical alkalized land in Xidatan of Ningxia. The experimental results show that applying desulfurized gypsum in different periods and depths has different effects on promoting the growth and yield of sunflower. If the desulfurized gypsum is applied in autumn other than in spring, the effect will be more distinct as the survival rate of sunflower seedlings can be improved by 21.2%~45.5%, and the yield can be increased by 16.2%~52.6%. If the desulfurized gypsum is deeply (25 cm) applied other than shallowly (10 cm) applied, the survival rate of sunflower seedlings and the yield can be respectively improved by 1.2%~5.4% and 1.2%~11.7%. When the desulfurized gypsum is applied in a different combination of period and depth, it will bring a different effect in improving the survival rate and yield. The effect on improving the growth of sunflower will be more distinct if the desulfurized gypsum is applied deeply in autumn, better than shallowly in autumn, deeply in spring or shallowly in spring. When it is applied deeply in autumn other than shallowly in autumn, deeply in spring or shallowly in spring, the survival rate of seedlings are respectively improved by 12.0%, 25.6% and 21.5%, and the yield are respectively improved by 14.4%, 32.7% and 29.9%. As the soil in Xidatan of Ningxia is deeply (25 cm) ploughed in autumn after harvest and is watered in winter, it is recommended that the desulfurized gypsum shall be applied deeply in autumn to improve alkalized soil.

Keywords: desulfurized gypsum; alkaline soil; period of application; depth of application; sunflower; seedling rate; yield

(上接第 188 页)

[25] Mayer A M. Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? [J]. *Phytochem.* 2006, 67(21):2318—2331.

[26] 田国忠,李怀方,裴维蕃.植物过氧化物酶研究进展[J].武汉植物学研究,2001,19(4):332—344.

[27] Badiani M. De Biasi M G, Felici M. Soluble peroxidase from winter wheat seedling with phenoloxidase activity[J]. *Plant Physiol.* 1999, 92:489—494.

Changes in flavonoids content and related enzyme activity of sugarcane leaves under PEG stress

ZHOU Gui^{1,2,3,4}, LI Yang-rui^{1,3,4}, YANG Li-tao^{1,4},
WEI Xue-xue², QIU Pei-ling²

1. *Guangxi Key Laboratory of Subtropical Bioresources Conservation and Utilization, Guangxi University, Nanning 530005, China;*
2. *College of Chemistry and Ecological Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China;*
3. *Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Lab, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;*
4. *Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)*

Abstract: The content of flavonoids and related enzyme activities in the young plants were studied in order to analyze the effect of PEG treatment on drought resistance of two sugarcane cultivars ROC22 and ROC16. The results indicated as follows: PEG stress could decrease the content of flavonoids in ROC22 with high drought-resistance, whereas the content of flavonoids in ROC16 with low drought-resistance showed decreasing first and increasing later. During the course of PEG stress, the phenylalanine ammonialyase activity in ROC22 and ROC16 decreased for some time but increased afterwards. The polyphenol oxidase activity showed rising first and dropping later in ROC22 but always decreasing in ROC16. The peroxidase activities in ROC22 and ROC16 decreased continuously.

Keywords: sugarcane; PEG stress; flavonoids; phenylalanine ammonialyas; polyphenol oxidase; peroxidase