

# 不同改良物质对苏打碱土盐碱度及水稻生长的影响

王云贺<sup>1,2</sup>, 王志春<sup>1,3</sup>, 杨帆<sup>1,3</sup>, 梁正伟<sup>1,3</sup>, 安丰华<sup>1,3</sup>

(1 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 吉林 长春 130102; 2 中国科学院大学, 北京 100049;  
3 大安碱地生态实验站, 吉林 大安 131317)

**摘要:**针对吉林省西部新垦水田地盐碱化严重等问题,研究了脱硫石膏(GR)、沙土(SS)、农家肥(FM)、混合(M) 4种处理对苏打碱土新垦水田的改良作用.结果表明:M处理的水稻株高与SS、FM、对照(CK)间存在极显著差异( $P<0.01$ );GR处理的水稻根长、叶面积指数与CK、FM存在极显著差异( $P<0.01$ );M和GR处理水稻株高、根长和叶面积指数差异不显著,表明M处理中的脱硫石膏成分对土壤改良的贡献率最大,进而影响水稻的形态特征.M处理的水稻根生物量最高,GR处理的水稻茎、叶、穗生物量和总生物量最高,并且与CK间存在极显著差异( $P<0.01$ ).在改良12个月后,0~20 cm土层土壤的pH在M与CK间存在显著差异( $P<0.05$ );CK、SS与GR处理间EC值差异极显著( $P<0.01$ ).在改良17个月后,M与CK间土壤pH存在极显著差异( $P<0.01$ );CK、FM和SS处理与GR、M处理间EC、ESP值存在极显著差异( $P<0.01$ ),M处理的EC值最高、ESP最低.GR处理水稻产量达到6 071 kg/hm<sup>2</sup>.

**关键词:**脱硫石膏; 农家肥; 水稻生长; 碱化度; 土壤改良  
**中图分类号:**S156.4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-411X(2013)04-0445-05

## Effects of Different Ameliorate Materials on Soda Alkaline Soil Salinity-Alkalinity and Rice Growth

WANG Yunhe<sup>1,2</sup>, WANG Zhichun<sup>1,3</sup>, YANG Fan<sup>1,3</sup>, LIANG Zhengwei<sup>1,3</sup>, AN Fenghua<sup>1,3</sup>

(1 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China;  
2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3 Da'an Sodic Land Experiment Station, Da'an 131317, China)

**Abstract:** Effects of different treatments (desulfurization gypsum (GR), sandy soil (SS), farm manure (FM) and mixed (M)) on new reclamation paddy field amelioration of soda alkaline soil were studied for these serious problems of soil salinization. The results showed that the rice height in M treatment differed significantly from SS, FM and control (CK) treatments ( $P<0.01$ ); the root length and leaf area index in GR treatment differed significantly from control and FM treatments, the rice height, root length and leaf area index in M treatment did not have significant differences from GR treatment, which indicated that GR had the largest contribution to soil amelioration and affected morphological characteristics of rice. The root biomass of M treatment was the maximum, and the stem, leaf, spike and total biomass of GR treatment were the maximum, which differed significantly from CK. Soil pH of 0–20 cm in M treatment differed from CK ( $P<0.05$ ); differences in electric conductivity (EC) among CK, SS and GR treat-

ments were statistically significant ( $P < 0.01$ ) after amelioration of 12 months, but the soil pH in M treatment differed significantly from CK ( $P < 0.01$ ), the maximum EC and minimum exchangeable sodium percentage (ESP) were observed in M treatment; the EC and ESP of CK, FM and SS treatments differed from GR and M treatments after amelioration of 17 months. The rice yield was 6 071 kg/hm<sup>2</sup> in GR treatment. The most economic way was GR treatment in terms of cost savings, amelioration and production increase.

**Key words:** desulfurization gypsum; farm manure; rice growth; alkalinity; soil amelioration

大量的科研和生产实践证明,盐碱地种稻是苏打盐碱地改良利用的最有效途径之一,也是促进农民增收、农业增效及改善生态环境的最佳途径<sup>[1-4]</sup>. 随着2007年9月总投资62亿元的吉林省西部土地开发整理重大项目,即引嫩入白工程、大安灌区工程及哈达山水利枢纽工程的全面启动,吉林省将新增水田27万hm<sup>2</sup>,年增大米16.5亿kg. 这是吉林省继20世纪80年代西部水田开发的又一重大举措<sup>[5]</sup>. 松嫩平原的盐碱土属内陆型苏打盐碱土,土壤呈强碱性反应,盐分组成以苏打(NaHCO<sub>3</sub>与Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)为主,pH多在8.5以上,重度盐碱地(pH9.0~10.5)占多数. 盐化严重,土壤渗透性差,水质盐碱化严重,多数为矿化度1~2 g/L的微咸水或3~4 g/L的碱水. 同时,潜水位接近地表,蒸发强烈,土壤极易积盐、返盐,治理难度大. 在吉林省西部水源条件较好的地区,许多水稻种植户已经将可以直接种植水稻的轻度盐碱地开垦成水田,但是水稻的产量很低,经济效益极低. 余下的大部分荒地是苏打碱土,开发难度较大. 目前已有大量的文献报道盐碱地的改良方法<sup>[6-9]</sup>,但对新开垦苏打碱土的改良方法研究较少. 传统盐碱地的改良方法主要包括压沙、灌水洗盐、硫酸铝、石膏、农家肥. 本试验对比分析脱硫石膏、农家肥和沙土3种改良物质对苏打碱土的改良效果,通过研究改良物质单独和混合处理对水稻形态特征、各构件生物量、产量及土壤的盐碱化程度的影响,探讨苏打碱土种稻的最佳改良方法,为吉林省西部盐碱地开发种稻提供一定理论基础和技术支持.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点为中国科学院大安碱地生态实验站(N45°35'58"~45°36'28",E123°50'27"~123°51'31"),位于松嫩平原腹地,是中重度苏打盐渍土的典型代表区域. 地处中温带大陆性季风区,亦属于半湿润向半干旱气候过渡地带. 年均降水量413.7 mm. 春季少

雨,降水多集中在夏季,7—8月份降水量占全年的56%;年均蒸发量1 756.9 mm. 年平均气温4.3℃. 全年光照充足,无霜期达137 d,日照时数达3 014 h,≥10℃的有效积温为2 935℃. 土壤pH 10.5,电导率2.08 dS·m<sup>-1</sup>,容重1.54 g·kg<sup>-1</sup>,有机质质量分数0.34%,交换性钠质量分数为74.5%.

### 1.2 试验设计

试验开始于2009年春,水稻品种为“G19”. 试验设5个处理分别为:1)对照,不加任何改良措施(CK);2)农家肥(FM);3)脱硫石膏(GR);4)沙土(SS);5)混合(M). 肥料用量及处理方法:GR处理3 kg/m<sup>2</sup>,加入后人工搅浆,搅浆深度20 cm,静止24 h放掉,再灌水,再搅浆,再排水,再灌水,沉淀后插秧;SS处理,在原来土壤上覆盖10 cm沙土,其他操作同GR处理;FM处理6 kg/m<sup>2</sup>,同GR处理洗排2次后,施入农家肥,灌水搅浆沉淀后插秧;M处理,上述GR、SS和FM处理的肥料用量相加,一次性施入,灌水搅浆,排干,再灌水,搅浆,排干,灌水沉淀后插秧;CK处理为不作任何改良,人工搅浆排干2次后灌水沉淀插秧. 小区随机区组排列,3次重复,小区面积20 m<sup>2</sup>. 在改良第2年即2010年5月26日泡田前采土样,2010年10月10日收获后采0~20 cm耕层土样,土样自然阴干后备用. 抽穗期(2010年08月11日)测叶面积指数,10次重复. 同时每个处理取9穴,测水稻各构件生物量.

脱硫石膏用量(GR)的计算按照下面的公式<sup>[10]</sup>:

$$GR = 1.25 \times CEC \times (ESP_i - ESP_f) \times 10^{-4}.$$

式中,CEC代表阳离子交换量,ESP<sub>i</sub>代表起始土壤交换性钠质量分数,ESP<sub>f</sub>代表目标土壤交换性钠质量分数. 本试验目标土壤交换性钠质量分数为15%.

### 1.3 测定方法

用LAI-2000测叶面积指数. 在水稻收获期测产,计算每个小区水稻的理论产量. 土样自然风干

后,配制土水质量比 1:5 浸提液,采用 DDS-307 型电导率仪(上海精密仪器厂)测定电导率;采用 pH-25 型 pH 计(上海盛磁仪器有限公司)电位法测定 pH. 阳离子交换量采用乙酸钠-乙醇-乙酸铵法测定;交换性钠离子含量采用乙醇-乙酸铵-火焰光度法测定.

1.4 数据统计分析方法

采用 SPSS 软件分析试验数据,利用 Duncan's 新复极差法进行多重比较,用 Excel 软件绘制趋势线图.

2 结果与分析

2.1 不同改良物质对水稻形态特征的影响

由表 1 可知,不同改良物质对水稻形态特征具有显著影响,M 处理的水稻株高和叶面积指数均最高,而 CK 最低. 方差分析表明:M 处理的水稻株高与 SS、FM、CK 处理间存在极显著差异( $P<0.01$ ),M 与 GR 处理无显著差异;GR 处理的水稻根长与 CK、FM

处理差异极显著( $P<0.01$ ),与 SS 处理差异显著;GR 处理的水稻叶面积指数最高,与 CK、FM 处理差异极显著( $P<0.01$ ),与 SS 处理差异显著( $P<0.05$ ),与 M 处理无显著差异. M 与 GR 处理间水稻株高、根长和叶面积指数无显著差异,表明混合处理中的脱硫石膏成分对土壤改良的贡献率最大,进而影响水稻的形态特征.

2.2 不同改良物质对水稻各构件生物量的影响

由表 2 可知,M 处理的水稻根生物量最高,GR 处理的水稻茎、叶、穗生物量和总生物量最高. 方差分析表明:M 处理的水稻根生物量与 CK、SS 处理差异显著( $P<0.05$ ),FM 和 GR 无显著差异;GR 处理的水稻茎、叶生物量与 CK 差异极显著( $P<0.01$ );GR 处理的水稻穗生物量与 FM、SS 处理差异极显著,与 M 处理间存在显著差异( $P<0.05$ );GR 处理的水稻总生物量最高,与 CK 差异极显著( $P<0.01$ ),与 SS 处理差异显著( $P<0.05$ ),与 M 处理间差异不显著.

表 1 不同改良物质对水稻形态特征的影响<sup>1)</sup>  
Tab. 1 Effects of different ameliorative materials on morphological characteristics of rice

| 处理       | 株高/cm           | 根长/cm           | 叶面积指数          |
|----------|-----------------|-----------------|----------------|
| 对照(CK)   | 44.6 ± 2.66cC   | 17.3 ± 3.33bB   | 0.44 ± 0.01cC  |
| 农家肥(FM)  | 62.2 ± 5.29bBC  | 16.0 ± 4.00bB   | 1.08 ± 0.09bB  |
| 脱硫石膏(GR) | 82.4 ± 17.79aAB | 34.7 ± 2.37aA   | 1.55 ± 0.06aA  |
| 沙土(SS)   | 63.4 ± 2.37bBC  | 24.1 ± 9.17bAB  | 1.14 ± 0.33bAB |
| 混合(M)    | 86.7 ± 1.40aA   | 24.2 ± 2.65 aAB | 1.45 ± 0.16aAB |

1)表中数据为平均值±标准误,同列数据后凡是有一个相同大、小写字母者,分别表示在 0.01、0.05 水平差异不显著(Duncan's 法).

表 2 不同改良物质对水稻各构件生物量的影响<sup>1)</sup>  
Tab. 2 Effects of different ameliorative materials on biomass of rice

| 处理       | 根               | 茎                 | 叶                | 穗               | 总计                 |
|----------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| 对照(CK)   | 2.50 ± 0.16bA   | 1.96 ± 0.13cB     | 1.10 ± 0.11bB    |                 | 5.54 ± 0.15cB      |
| 农家肥(FM)  | 4.90 ± 0.69abA  | 10.00 ± 8.06abcAB | 3.76 ± 1.77abAB  | 1.30 ± 0.30cBC  | 18.70 ± 10.24abcAB |
| 脱硫石膏(GR) | 4.30 ± 0.20 abA | 20.18 ± 8.79aA    | 6.62 ± 3.28aA    | 7.52 ± 2.65aA   | 31.05 ± 12.26aA    |
| 沙土(SS)   | 2.45 ± 0.93bA   | 8.21 ± 4.84bcAB   | 3.06 ± 2.23 abAB | 2.43 ± 1.16bcBC | 13.72 ± 7.70bcAB   |
| 混合(M)    | 5.30 ± 2.63aA   | 14.13 ± 2.04abAB  | 4.03 ± 0.38 abAB | 4.12 ± 0.67bAB  | 23.50 ± 4.00abAB   |

1)表中数据为平均值±标准误,同列数据后凡是有一个相同大、小写字母者,分别表示在 0.01、0.05 水平差异不显著(Duncan's 法).

2.3 不同改良物质 0~20 cm 土层土壤 pH、电导率和交换性钠的变化

土壤 pH、电导率(EC)和交换性钠(ESP)是反应土壤盐碱化程度的主要指标. 如表 3 所示,土壤改良不同时间后 0~20 cm 土层土壤盐碱度发生显著的变化. 在改良 12 个月后,0~20 cm 土层土壤 pH 在

M 与 CK 之间差异显著( $P<0.05$ ),而 FM、GR 和 SS 处理间无显著差异;CK 与 GR、M 处理的 EC 值差异极显著( $P<0.01$ ),表明石膏改良处理 12 个月后能显著降低土壤的盐分含量,而沙土不能;CK 与 FM、GR、M 处理间碱化度存在极显著差异,表明石膏和农家肥均能降低土壤的碱化度.

在改良 17 个月后,即经过一个水稻生长季后,一部分盐分通过排水排走,一部分垂直入渗到深层土壤,5 个处理的土壤 pH 分别降低了 0.24、0.72、1.22、0.82 和 1.55,CK 与 GR、M 处理间土壤 pH 存在极显著差异( $P<0.01$ ),表明脱硫石膏和混合

处理显著降低了土壤 pH;CK、FM 和 SS 处理的 EC、ESP 与 GR、M 处理间存在极显著差异,混合处理的 EC 最高,ESP 最低,说明脱硫石膏的  $\text{Ca}^{2+}$  置换了土壤胶体中的交换性  $\text{Na}^+$ ,使电导率升高,碱化度降低.

表 3 不同改良物质 0~20 cm 土层土壤 pH、电导率和交换性钠含量变化<sup>1)</sup>

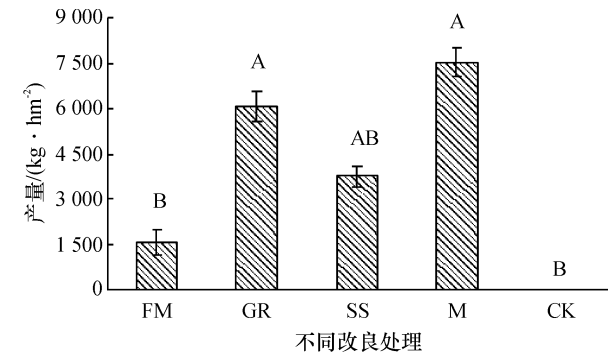
Tab. 3 Changes of pH, electric conductivity and exchangeable sodium percentage in 0–20 cm soil treated by different ameliorative materials

| $t_{\text{改良后}}/\text{月}$ | 处理       | pH            | 电导率/( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) | $w(\text{交换性钠})/\%$ |
|---------------------------|----------|---------------|---------------------------------------|---------------------|
| 12                        | 对照(CK)   | 10.12±0.09aA  | 0.74±0.14aA                           | 17.18±0.18bB        |
|                           | 农家肥(FM)  | 9.94±0.22abA  | 0.61±0.07abAB                         | 21.93±2.93aA        |
|                           | 脱硫石膏(GR) | 9.79±0.21abA  | 0.42±0.02cB                           | 10.35±1.35cC        |
|                           | 沙土(SS)   | 10.05±0.05abA | 0.71±0.03aA                           | 20.79±0.89abA       |
|                           | 混合(M)    | 9.77±0.07bA   | 0.48±0.04bcB                          | 8.84±1.84cC         |
| 17                        | 对照(CK)   | 9.86±0.06aA   | 0.75±0.07cC                           | 26.35±1.18aA        |
|                           | 农家肥(FM)  | 9.22±0.18abAB | 0.66±0.16cC                           | 11.52±0.62bB        |
|                           | 脱硫石膏(GR) | 8.57±0.36bB   | 1.77±0.34bB                           | 1.47±0.27dD         |
|                           | 沙土(SS)   | 9.23±0.22abAB | 0.83±0.11cC                           | 6.45±0.35cC         |
|                           | 混合(M)    | 8.22±0.68bB   | 2.35±0.24aA                           | 0.41±0.03dD         |

1)表中数据为平均值±标准误,相同改良时间同列数据后凡是有一个相同大、小写字母者,分别表示在 0.01、0.05 水平差异不显著(Duncan's 法).

2.4 不同改良物质对水稻产量的影响

由图 1 可以看出,不同改良物质对水稻产量有极显著影响.不加任何改良措施的对照(CK)水稻在种植第 2 年仍没有产量,GR 处理水稻产量达到 6 071  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ .不同改良处理水稻产量由大到小依次顺序为:M>GR>SS>FM>CK.说明混合处理中的脱硫石膏的增产效果最明显,贡献率达 80.6%,石膏促使土壤结构发生明显改变,改善了作物根系的生长环境,降低了土壤的碱化度,促进了水稻的生长发育.



CK:对照,FM:农家肥,GR:脱硫石膏,SS:沙土,M:混合;  
柱子上凡是有一个相同大写字母者,表示在 0.01 水平差异不显著(Duncan's 法).

图 1 不同改良物质对水稻产量的影响

Fig. 1 Effects of different ameliorative materials on rice yield

3 讨论与结论

吉林省西部新垦水田存在的主要问题是土壤盐碱化相对较重,开发难度大,盐碱地资源利用效率低.吉林省西部水利工程建设正在完善,水资源得到了保障,但是水稻种植户对新垦水田的盐碱化问题重视不够.吉林省西部新垦水田大部分是重度盐碱土和苏打碱土,在不采取任何改良措施的情况下,3~5年内水稻难以成活.有研究报道,烟气脱硫副产物脱硫石膏是有效的盐碱土改良剂,其主要成分为  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CaSO}_3$  的混合物,富含 S、Ca、Si 等植物必需或有益的矿质营养.脱硫石膏中的  $\text{Ca}^{2+}$  置换土壤胶体中的交换性  $\text{Na}^+$ ,以降低土壤交换性  $\text{Na}^+$  含量,相应地降低土壤碱化度.关于脱硫石膏改良盐碱土的研究已有大量的文献报道<sup>[11-17]</sup>.本试验研究表明,3 种改良物质对水稻的形态特征、生物量、产量和土壤的盐碱化产生了显著的影响.M 处理的水稻根生物量最高,GR 处理的水稻茎、叶、穗生物量和总生物量最高,且与 CK 间存在极显著差异.在改良 12 个月后,GR 处理的 pH、EC 和碱化度均显著降低,这与王金满等<sup>[18]</sup>的研究结果一致.

盐碱地改良的另一个重要方法是施用农家肥.本研究结果表明,农家肥能降低土壤的 pH、电导率

和碱化度,但是对水稻产量的影响要小于沙土、石膏和混合处理.有文献报道,农家肥能提供给作物必须的营养(例如 N、P 和 K)<sup>[19]</sup>以重建土壤理化性质以及微生物种群和活性<sup>[20]</sup>;降低土壤容重,增加土壤总孔隙度和毛管孔隙度,提高土壤的入渗率,有利于盐渍土盐分的淋洗<sup>[21]</sup>;还具有保温保水的作用.但是农家肥对苏打碱土的改良效果见效慢、投入成本高,在吉林省西部不能被水稻种植户认可.

压沙治碱也是传统的改良盐碱土的有效措施之一.沙土能够增大土壤孔隙度,增强透性,利于土壤脱盐脱碱.但由于新开水田的面积 27 万 hm<sup>2</sup>,按 10 cm 沙层计算,需要 2 亿 7 千万 m<sup>3</sup> 的沙土,数量巨大,难以实现.

综上所述,对比 3 种改良物质对苏打碱土的改良效果,脱硫石膏对苏打碱土改良的贡献率最大,对水稻增产的贡献率也最大,既能改良土壤,又能快速提高水稻的产量.因此,脱硫石膏适合吉林西部苏打碱土新垦水田大范围使用.

参考文献:

[1] 裘善文,李取生,刘喜年. 松嫩平原盐碱化涝洼地综合治理与农业开发[M]. 北京: 科学出版社, 1997.

[2] 陈恩凤,王汝庸,胡思敏. 吉林省前郭旗灌区苏打盐渍土的改良[J]. 土壤学报, 1962, 10(2): 201-215.

[3] 赵兰坡,尚庆昌,李春林. 松辽平原苏打盐碱土改良利用研究现状及问题[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22 (专辑): 79-83.

[4] 王春裕. 论盐渍土之种稻生态改良[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 94-95.

[5] 孙强,李鹏志,江振东. 吉林省西部盐碱地水稻开发几个关键问题的探讨[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(2): 53-55.

[6] 朱化安. 盐碱土壤改良种稻措施[J]. 垦殖与稻作, 2004(2): 46-46

[7] 赵兰坡,王宇,马晶,等. 吉林省西部苏打盐碱土改良研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(1): 91-96.

[8] 罗新正,孙广友. 松嫩平原含盐碱斑的重度盐化草甸土种稻脱盐过程[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 47-50.

[9] 李取生,李秀军,李晓军,等. 松嫩平原苏打盐碱地治

理与利用[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 15-20.

[10] OSTER J D, FRENKEL H. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime[J]. Soil Sci Soc Am J, 1980, 44(1): 41-45.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 肖国举, 罗成科, 白海波,等. 脱硫石膏改良碱化土壤种植水稻施用量研究[J]. 生态环境学报, 2009, 18 (6): 2376-2380.

[14] 其力格尔, 李跃进,崔智勇,等. 脱硫石膏改良碱土 5 年后稳定性跟踪研究[J]. 内蒙古农业科技, 2012(3): 73-76.

[15] 罗成科,肖国举,张峰举,等. 脱硫石膏改良中度苏打盐渍土施用量的研究[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(3): 44-48.

[16] 黄菊莹, 余海龙, 孙兆军,等. 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[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 70-74.

[17] 王立志, 陈明昌, 张强,等. 脱硫石膏及改良盐碱地效果研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 241-245.

[18] 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.

[19] LAKHDAR A, HAFSI C, RABHI M, et al. Application of municipal solid waste compost reduces the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L. [J]. Bioresour Technol, 2008, 99(15): 7160-7167.

[20] MUHAMMAD A K, MUHAMMAD A. Effect of saline drainage effluent on soil health and crop yield[J]. Agric Water Manage, 2003, 62(2): 127-138.

[21] HANAY A, BUEYUEKSOENMEZ F, KIZIOGLU F M, et al. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost[J]. Compost Sci Util, 2004, 12(2): 175-179.

【责任编辑 周志红】