

耐盐碱细菌与有机物料对盐碱土团聚体形成的影响

刘彩霞, 黄为一*

(南京农业大学生命科学学院微生物学系, 南京 210095)

摘要: 从滨海盐碱土中分离筛选到分解秸秆、产胞外聚合物的耐盐碱细菌, 通过土柱和盆栽试验研究其与有机物料相互作用对盐碱土团聚体形成以及植物生长的影响。结果表明, 盐碱土中接种既分解秸秆又产胞外聚合物的耐盐碱细菌(菌株 M6), 配施未腐熟秸秆, 直接在盐碱土中腐熟分解, 团聚体形成效果最好, 大团聚体含量增加 60% 以上; 施加玉米秸秆与施腐熟有机肥相比, 前者更有利于盐碱土大团聚体的形成; 盐碱土中接种既分解秸秆又产胞外聚合物细菌对团聚体形成的促进作用优于单功能分解秸秆细菌(菌株 J2)或者分泌胞外聚合物细菌(菌株 DF-2); 菌株 M6 对盐碱环境下玉米的出苗、生长存活及干物质的积累有促进作用。

关键词: 耐盐碱细菌; 有机物料; 盐碱土; 土壤团聚体; 胞外聚合物

中图分类号: S154.2

我国盐碱土地资源约为 9 913 万 hm^2 , 土壤的盐化、碱化影响其物理、化学性状^[1], 治理开发盐碱化土地资源是实现农业可持续发展的重要措施。目前, 盐碱地改良主要有物理、化学与生物等综合措施。生物措施主要有种植耐盐植物^[2]、施加有机物料^[3]、施加微生物菌剂^[4]等。

微生物在盐碱土改良中的作用主要通过以下几个途径: 促进土壤团聚体的形成^[5]、增加土壤活性、促进植物生长。土壤中的盐碱成分在自然条件下不分解, 难转移。增加土壤团聚体, 切断土壤毛细管, 抑制水盐向上运行是盐碱土改良的重要途径。微生物在土壤团聚体形成中的作用主要表现在 3 个方面^[6]: ①微生物细胞可依靠自身带有的电荷借助静电引力使土壤颗粒彼此连接; ②植物、动物、微生物残体分解物对土壤颗粒的粘结作用; ③微生物对有机残留物分解过程中产生的代谢产物(多糖、聚氨基酸等, 合称胞外聚合物 extracellular polymer substances, 简称 EPS)。

虽然已有报道微生物对一般土壤团聚体的形成存在影响^[5], 但是有关促进盐碱土团聚体形成的微生物种类、有机物料的使用形态以及影响团聚体形成的关系, 缺少专门的研究。本试验拟从盐碱土中分离筛选耐盐碱、分解秸秆、产胞外聚合物的细菌; 测定耐盐碱细菌分解秸秆、产胞外聚合物的能力; 通过土柱及盆栽试验研究耐盐碱细菌与外源有机物相互作用对盐

碱土团聚体形成及植物生长的影响; 为今后盐碱地改良中有效地应用微生物和农业有机废弃物资源, 设计适合盐碱土改良的农艺措施, 为农业发展提供高质量的耕地提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试植物 玉米(登海 9 号)。

1.1.2 供试土壤 菌种筛选所用土壤: 江苏大丰地区王港试验站新鲜耕作土、盐场旧址附近未耕作土(120°39.347' ~ 120°41.671'E, 33°13.856' ~ 33°14.045' N), 离子总量 0.25 ~ 32.08 g/kg。

土柱和盆栽试验所用土壤: 盐城大丰王港试验站 1 ~ 20 cm 表层盐渍土, 理化性质: pH 8.2, 有机质 13.8 g/kg, 全 N 0.8426 g/kg, 全 P 4.27 g/kg, 全 K 59.35 g/kg, 有效 P 36.47 mg/kg, 有效 K 361.9 mg/kg。水溶性盐中各离子含量(g/kg): Ca^{2+} 0.089, Mg^{2+} 0.030, Na^+ 0.182, K^+ 0.055, HCO_3^- 0.034, Cl^- 0.706, SO_4^{2-} 0.067, 离子总量 1.162, 电导率 187.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 添加 N 源, 使土壤 C/N 比为 25, 混匀后, 土壤过 0.9 mm 筛, 风干后备用。

1.1.3 供试有机物料 成分含量(g/kg): 玉米秸秆(MS): 有机质 894.2, 全 N 17.5。腐熟有机肥(OF): 有机质 409, 全 N 65, 全 P 42.5, 全 K 42.8。两者均过 0.9 mm 筛, 烘干备用。

* 通讯作者 (huangwy@njau.edu.cn)

作者简介: 刘彩霞(1984—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事盐碱土改良及土壤微生物研究。E-mail: caixia19840904@yahoo.com.cn

1.1.4 细菌培养基 耐盐碱秸秆分解菌初筛培养基 (g/L, 代号 C): KH_2PO_4 2.0, NH_4NO_3 2.0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.3, CaCO_3 0.1, NaCl 50, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.003, 酵母膏 0.2, 玉米秸秆粉 (0.45 mm < 粉碎度 < 0.9 mm) 25, 琼脂 20, pH 8.0 ~ 8.5; 刚果红-纤维素培养基^[7] (g/L, 代号 G); 秸秆发酵培养基 (g/L, 代号 CC): C 培养基不加琼脂, NaCl 含量改为 0.3 g/L, pH 8.0. 产 EPS 耐盐菌株初筛培养基 (g/L, 代号 T): 蔗糖 20, KH_2PO_4 0.5, K_2HPO_4 0.2, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, 酵母膏 3, 琼脂 20, 盐碱土浸出液定容至 1000 ml, pH 8.0 ~ 8.5 (盐碱土浸出液成分见 1.1.2); 产 EPS 耐盐菌株发酵培养基 (g/L, 代号 TT): 产 EPS 耐盐菌株初筛培养基 (不加琼脂)。以上培养基用去离子水定容至 1000 ml, 121 °C 湿热灭菌 25 min。

1.2 试验设计

1.2.1 菌种筛选鉴定 将所采土样经 C 培养基分离、纯化, 挑选在 G 培养基上晕圈/菌落直径大于 2 的菌株, 转到 CC 培养基 (250 ml 摇瓶装 50 ml), 接种量 5%, 摇瓶发酵 5 天后测定秸秆失重率, 筛选出耐盐碱秸秆降解菌。将以上土样经 T 培养基分离、纯化得粘稠菌株, 将其接入 TT 培养基, 72 h 后离心去菌体, 上清液加两倍体积乙醇沉淀 EPS, 4 °C 过夜, 离心去上清, 得粗 EPS, 30 °C 风干称重, 挑选 EPS 产量较高菌株。菌株生理生化特征分析, 16S rRNA 序列分析。PCR 扩增引物, 其正向引物 F27 (5'-AGAGTTTGAT CMTGGCTCAG-3'), 反向引物 R1492 (5'-CGGYTA CCTTGTTACGACTT -3'), 扩增产物送上海英骏生物技术有限公司测序。

1.2.2 土柱试验 将有机物 (玉米秸秆粉 MS、腐熟有机肥 OF) 以 3% 量分别均匀拌至土壤, 100 °C 下高压蒸汽灭菌 1 h 后 28 °C 培养过夜, 再灭菌、再培养, 重复 3 次。PVC 管高 30 cm, 直径 8 cm, 上端开口, 下端塑料板中间凿直径 2 cm 孔, 接橡胶管引流, PVC 管用巴氏消毒液消毒, 底端垫灭菌滤纸, 装入厚度约 2 cm 的灭菌细砂, 置无菌室风干。

按接种菌株 (J2、M6、DF-2) 不同, 施加有机物 (MS、OF) 不同, 试验分 9 个处理: ①不添加有机物、不接种细菌 (CK); ②MS + J2; ③MS + M6; ④MS + DF-2; ⑤MS + CK (添加秸秆不接种细菌对照); ⑥OF + J2; ⑦OF + M6; ⑧OF + DF-2; ⑨OF + CK (添加有机肥不接种细菌对照), 每个处理 3 个重复。

菌株培养 20 h, 离心去上清, 根据菌株已测得在

600 nm 处 OD 值对应的菌体数, 适量无菌水重悬, 按 10^7 个/g 土壤的接种量接种菌悬液, 无菌条件下将有机物-土壤-菌悬液拌匀, 装入 PVC 管, 用 8 层灭菌纱布包扎上端开口。维持土壤含水量 20% 左右, 室温培养。4 个月后, 取距离表层 2 ~ 7 cm 土壤, 用稀释涂布法测定细菌含量, 采用人工湿筛法筛分土壤, 测定团聚体含量^[6]。将土壤筛分为: 直径 > 2 mm 大团聚体、2 ~ 0.25 mm 小团聚体、0.25 ~ 0.053 mm 微团聚体、< 0.053 mm 黏砂粒 4 个级别。

1.2.3 盆栽试验 挑选饱满玉米种子, 75% 酒精消毒, 无菌风干。盆钵用巴氏消毒液浸泡消毒, 底端自上依次垫塑料纱布、灭菌滤纸。土壤中均匀拌入 3% 玉米秸秆, 接种分解秸秆细菌, 试验分为 3 个处理: ①菌株 J2; ②菌株 M6; ③不接菌 (CK), 每个处理 3 个重复, 土壤灭菌及接菌种方法与土柱试验相同。每盆装土 1 kg, 盆钵随机排列于日光温室中, 维持土壤含水量 20% 左右, 放置 14 天后, 每盆播 8 粒玉米种子, 记录玉米出苗数目, 出苗 35 天后植株存活数目, 测定植株地上部、地下部干重 (60 °C 下烘干)。

1.3 数据处理与统计

用 SPSS16.0、Excel2003 软件对数据进行统计分析, Tukey 单因素方差分析法进行差异显著性分析 ($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 菌种筛选鉴定

经筛选, 在王港试验站新鲜耕作土中分离得到耐盐性较差但耐碱性较好且产胞外聚合物较多的细菌菌株, 代号为: DF-2, 经生理生化试验 (表 1) 初步鉴定为中华根瘤菌属 (*Sinorhizobium*)。在盐场旧址附近未耕作土中得到耐盐碱细菌两株: 代号为: M6、J2。经过 16S rRNA 序列分析及生理生化试验, J2 为短小芽孢杆菌 (*Bacillus pumilus*), M6 为枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)。

由表 2 可看出: 摇瓶条件下, 接种菌株 DF-2 后秸秆失重率与空白比没有显著增加, 即菌株 DF-2 不分解秸秆, 72 h EPS 产量在 3 株细菌中最高; 菌株 M6 既降解玉米秸秆, 又产生 EPS; 菌株 J2 对玉米秸秆 5 天失重率在 3 株细菌中最高, 但不分泌 EPS。菌株 DF-2 耐盐性较差, 但经驯化对 NaCl 耐受性达 3%。

2.2 土柱试验

2.2.1 施加腐熟有机肥各接种处理对团聚体形成的影响 对相同粒级团聚体不同接种处理的效果差异

表 1 菌株主要生理生化特征

Table 1 Main physiological and biochemical characteristics of strains

菌株	革兰氏染色	产芽胞	苯丙氨酸脱氨酶	接触酶	明胶	淀粉	V-P	吡啶	硝酸盐	L-阿拉伯糖	D-甘露醇
					水解	水解	试验	试验	还原		
J2	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+
M6	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
DF-2	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+

注：“+”表示阳性，“-”表示阴性。

表 2 菌株分解秸秆、产 EPS 能力及耐盐碱范围

Table 2 Strain ability of decomposing straw, EPS secretion and tolerant range to salt and alkali

项目	CK	J2	M6	DF-2
5 天秸秆失重率 (%)	18.3 ± 1.74	33.73 ± 0.23	24.6 ± 4.08	18.6 ± 2.62
3 天 EPS 产量 (g/L)	0.21 ± 0.05	0.33 ± 0.05	4 ± 0.14	12.5 ± 0.31
NaCl 耐受范围	-	0% ~ 8%	0% ~ 8%	0% ~ 1%
pH 耐受范围	-	7 ~ 11	7 ~ 10	8 ~ 10

注：“-”表示未测定。

可以看出，接种处理下 >2 mm 各粒级团聚体含量显著高于 CK，添加有机肥不接种细菌对照 (OF+CK) 各粒级团聚体与 CK 相比 >0.25 mm 团聚体含量无显著差异 (图 1)。接种 J2、DF-2 处理与不接种处理及 CK 相比大团聚体含量均显著增加；接种 J2、M6 与不接种及 CK 相比小团聚体含量均显著增加；接种 M6 与其他各处理及 CK 相比微团聚体含量均显著增加；不接种及 CK 的黏砂粒含量显著高于各接种处理。因

此可看出施加腐熟有机肥且接种 3 株细菌促进了各粒级团聚体的形成，尤其是 J2、DF-2 明显促进了大团聚体的形成，但施加腐熟有机肥后如果不接种，各粒级团聚体含量变化不显著。

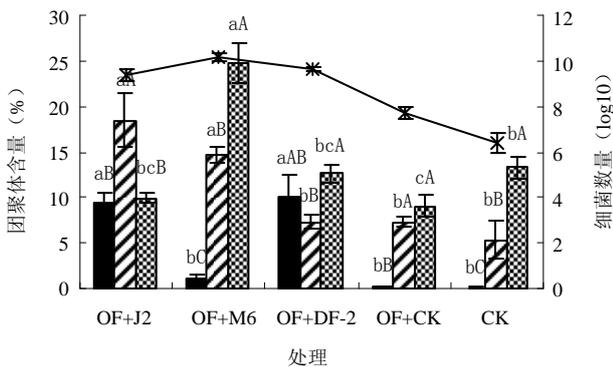
2.2.2 施加玉米秸秆各接种处理对团聚体形成的影响

对相同粒级团聚体不同接种处理的效果差异可以看出，接种 J2、M6 与不接种及 CK 相比显著增加了 >2 mm 大团聚体含量，>2 mm 大团聚体、2 ~ 0.25 mm 小团聚体及 0.25 ~ 0.053 mm 微团聚体含量之和达到 50% 以上 (图 2)。>2 mm 大团聚体含量，接种 M6 处理显著高于其他接种、不接种及空白对照，接种 J2 处理次之。接种 DF-2 与不接种处理之间各粒级团聚体含量均无显著差异，但不接种处理各粒级团聚体含量均高于 CK。由此可知施加玉米秸秆且接种 3 株细菌促进了团聚体的形成，尤其是接种 J2、M6 处理显著促进大团聚体的形成，其中菌株 M6 对大团聚体的贡献最大。对同一菌株不同粒级团聚体含量的分布差异可以看出，施加玉米秸秆后接种与不接种处理均有利于大团聚体的形成。

从图 1、图 2 可知，细菌数量在两种有机物的接种处理中均高于不接种及 CK。菌株 DF-2 在施加玉米秸秆处理中数量较低。盐碱土有机质含量较低，该菌株又不能分解秸秆作为自身养分，由此可解释接种该细菌处理同不接种处理之间，各粒级团聚体含量为什么没有显著差异。

2.2.3 施加腐熟有机肥及玉米秸秆对 >2 mm 大

■ >2mm ▨ 2~0.25mm ▩ 0.25~0.053mm * 细菌数量



(大写字母不同表示同一菌株处理方式下不同团聚体粒级间差异显著 (p<0.05)，小写字母不同表示同一团聚体粒级下不同菌株处理间差异显著 (p<0.05)，下同)

图 1 施加有机肥处理中不同接种处理对团聚体形成量及细菌数量的影响

Fig. 1 Effects of different inoculation treatments on soil aggregates and bacteria livability under organic fertilizer application

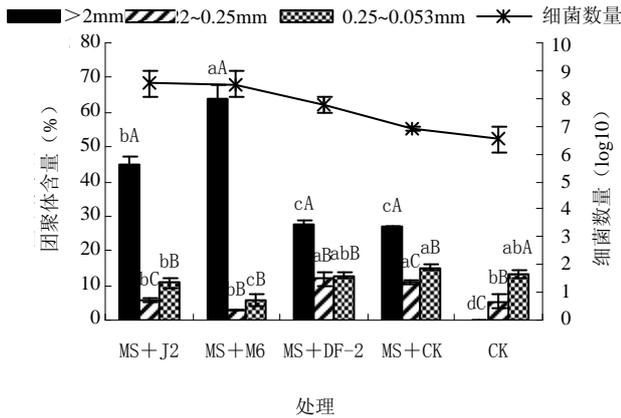


图 2 施加玉米秸秆处理中不同接种处理对团聚体形成量及细菌数量的影响

Fig. 2 Effects of different inoculation treatments on soil aggregates and bacteria livability under corn straw application

团聚体形成的影响 所有接种与不接种处理,与 CK 相比,施加玉米秸秆处理大团聚体含量显著高于施加腐熟有机肥的处理(图 3)。与 CK 相比,施加玉米秸秆处理接种 J2、M6 大团聚体含量增加幅度均高于 40%,接种 M6 处理作用最显著,大团聚体形成量达 60% 以上,DF-2 及不接种处理大团聚体含量增幅也高于 20%;施加腐熟有机肥处理接种 J2、DF-2 大团聚体含量增加幅度仅为 10% 左右。

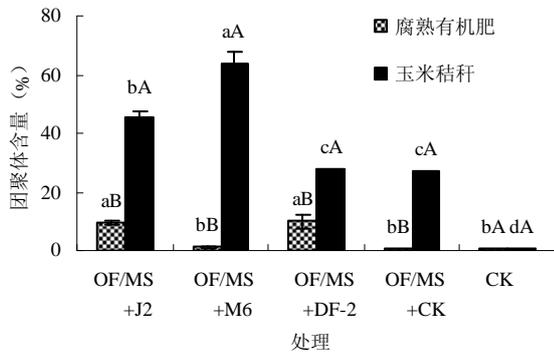


图 3 接种处理中两种有机物对 >2 mm 团聚体形成量的影响

Fig. 3 Effects of two organic fertilizers on >2 mm soil aggregates under different inoculation treatments

2.2.4 施加腐熟有机肥及玉米秸秆对 <0.053 mm 黏砂粒形成的影响 所有的接种、不接种处理,与 CK 相比,施加腐熟有机肥处理黏砂粒含量显著高于施加玉米秸秆的处理(图 4)。玉米秸秆对 >0.053 mm 各粒级团聚体形成的促进作用大于腐熟有机肥。试验证明腐熟有机肥对盐碱土各粒级团聚体的形成促进作用较小。

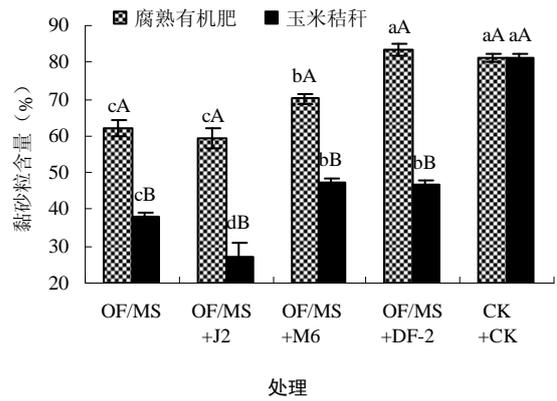


图 4 各接种处理中两种有机物对 <0.053 mm 黏砂粒形成量的影响

Fig. 4 Effects of two organic fertilizers on <0.053 mm silt and clay fraction under different inoculation treatments

2.3 盆栽试验

一般来说,全盐量大于 0.1% 时,植物发芽就会受到影响。玉米的耐盐性居中,当土壤盐分大于 0.13% ~ 0.16% 时,生长迟缓。供试土壤盐分为 0.12%,且有机质含量很低,因而玉米在不作任何处理的供试土壤中发芽及生长均会受影响。

2.3.1 接种处理对玉米出苗率及植株存活率的影响 出苗率:接种 M6 处理出苗率高于接种 J2 处理及 CK,接种 J2 处理出苗率高于 CK,但差异均不显著。收获时植株存活率:接种处理均促进植株存活,其中接种 M6 处理与 CK 相比植株存活率差异达到显著水平,接种 J2 处理与 CK 相比差异不显著(图 5)。

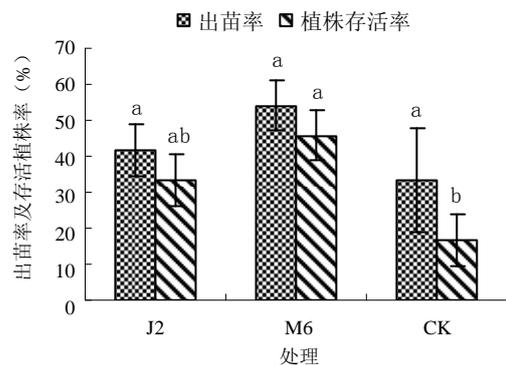


图 5 不同接种处理对玉米出苗率和植株存活率的影响

Fig. 5 Effects of different inoculation treatments on percentages of seed germination and livability

2.3.2 接种处理对玉米植株干重的影响 在盐碱环境中,菌株 M6 对玉米的地上和地下部分均有显著促进作用,而菌株 J2 促进作用不显著(图 6)。

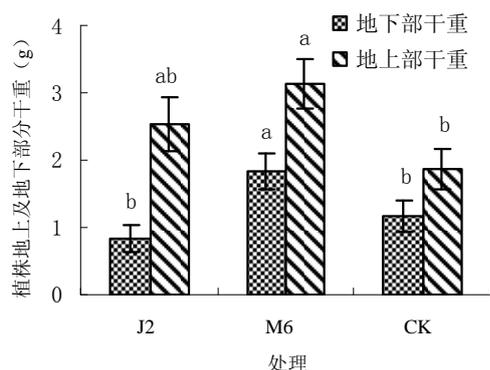


图 6 不同接种处理对玉米地上部和地下部干重的影响

Fig. 6 Effects of different inoculation treatments on dry weights of corn shoots and roots

3 讨论

盐碱土自身肥力水平一般较低，有机质含量少，施加有机物料是微生物菌剂在盐碱土中作用代谢的基础。以往研究表明，通过有机质培肥土壤，提高土壤有机质含量，可以改善土壤结构，减少地面蒸发，抑制水盐向上运行，加速水盐向下淋洗^[8]。试验结果表明，施加腐熟有机肥后如果不接种细菌，各粒级团聚体含量变化不显著，说明腐熟有机肥只有在微生物作用下，才有团聚土粒的能力。有机质与有机物料即腐熟与未腐熟的关系在盐碱土中的应用效果是不一致的。

施加玉米秸秆且接种秸秆分解菌 J2、既分解秸秆又分泌胞外多糖细菌 M6 处理显著促进了大团聚体的形成，其中菌株 M6 对大团聚体的贡献最大。其原因是菌株 M6 既能分解秸秆产生秸秆分解物，菌体自身又能分泌胞外多糖。秸秆分解物中不仅含有大量的纤维多糖，还有腐殖酸、胡敏酸类有机酸。多糖是土壤有机质的组成成分之一，占有有机质的 5%~30%，多糖通过游离羟基的离子键和氢键与土壤黏粒粘结^[9]，秸秆分解物和细菌多糖有效地胶结了土壤颗粒。

秸秆分解菌 J2 分解玉米秸秆能力高于既分解秸秆又分泌胞外多糖细菌 M6，但接种后，盐碱土团聚体形成量后者显著大于前者，表明秸秆分解物对盐碱土团聚体形成的促进作用小于细菌分泌的多糖，研究表明多糖具有较有机质中的其他成分更强的胶结土壤颗粒的能力^[10]。当新鲜有机残渣进入土壤时，它们成为微生物活动的场所和团聚体的核心^[11]。Molop 等^[12]用高碘酸钾氧化土壤的方法，也发现细菌产生的多糖在土壤团聚体形成中起到十分重要的作用。施加玉米秸秆后接种或不接种细菌都可以在一定程度上

提高团聚体的含量，可能原因是土壤灭菌不彻底，仍有微生物存活，另外秸秆的粉碎及灭菌也可能有利于盐碱土大团聚体的形成。

盐碱土中施加秸秆与腐熟有机肥相比，直接在土壤中施加秸秆更利于水稳性团聚体的形成。腐熟有机肥制造过程中经过微生物的分解作用，对团聚体形成起重要作用的胞外多聚物已被逐步分解。腐熟后的有机肥矿化度高、盐分含量高，所以腐熟有机肥对盐碱土的改良作用，不及经耐盐微生物实时分解的有机秸秆的作用显著，因秸秆的分解过程正是微生物胞外聚合物大量形成的时期。说明对盐碱土改良而言，秸秆的腐熟过程在田间土壤中“在线”分解更有效，如果先腐熟再施入田间，即“离线”分解对盐碱土改良效果相对较差。菌株 J2 虽然腐解秸秆能力较强，但无固氮能力，随着新鲜秸秆的快速腐解，接种的细菌与植物竞争氮素营养，可能是抑制玉米生长的原因。

综上所述，盐碱土不施加腐熟有机物料或者施加有机物料不接种细菌，或接种的细菌不耐盐碱，或接种的细菌不是多功能菌（指仅分解秸秆或者仅分泌胞外多聚物）都不能最大程度地促进盐碱土团聚体的形成。将单一功能细菌进行复合，组成多功能复合菌群，复合菌群对盐碱土团聚体形成的影响可作为今后进一步研究的主要内容。复合菌群中各种微生物之间的相互关系又极易受环境条件影响，复合菌群效果与多功能单一菌株相比哪一种效果更佳，有待于进一步研究。Kabir 等^[13]研究表明虽然丝状微生物可借助菌丝对土壤颗粒进行缠绕，团聚体的真正形成还必须依赖于微生物分泌物等有机物质。土壤盐度影响 AM 真菌的发育，延缓或抑制孢子的萌发和菌丝的生长以及菌根的建立^[14]。并且由于菌丝易被其他微生物分解，因此所形成的是一种不稳定团聚体^[13]。农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布和组成有着显著影响^[15]，有机物料在未腐熟前有机质含量较高，耐盐碱微生物施加后盐碱土水稳性团聚体的含量大幅提高，因而耐盐碱微生物在重盐碱土种植业领域有较好的应用前景。

4 结论

- (1) 有机物料施入盐碱土后，必须要有耐盐碱细菌作用才能更好地促进盐碱土团聚体的形成。
- (2) 分解秸秆并产胞外聚合物的耐盐碱细菌配施未腐熟秸秆对盐碱土团聚体形成的促进作用最显著。
- (3) 应用有机物料和微生物改良盐碱土应使腐熟过程在土壤中进行。
- (4) 同时施用未腐熟有机物料和微生物菌剂对盐

碱土的改良效果远好于直接施加腐熟好的有机肥。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993: 1-246
- [2] 赵可夫, 范海, 江行玉, 宋杰. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31-35
- [3] Tejada M, Garcia C, Gonzalez JL, Hernandez MT. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 1413-1421
- [4] Rao DLN, Burns RG. The influence of blue-green algae on the biological amelioration of alkali soils. *Biol. Fertil. Soils*, 1991, 11: 306-312
- [5] 程丽娟, 来航线, 李素俭, 周马康. 微生物对土壤团聚体形成的影响. 西北农业大学学报, 1994, 22(4): 93-97
- [6] Bossuyt H, Deneff K, Six J, Frey SD, Merckx R, Paustian K. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, 2001, 16: 195-208
- [7] 包衍, 王晓辉, 张伟琼, 罗江兰, 聂明, 肖明. 纤维素分解菌的选育及酶活测定. 生物学杂志, 2007, 24(2): 56-58
- [8] 郜翻身, 崔志祥, 樊润威, 张三粉. 有机物料对盐碱化土壤的改良作用. 土壤通报, 1997, 28(1): 9-11
- [9] 沃尔克. 土壤微生物学. 北京: 科学出版社, 1981: 104-124
- [10] 邹美娥, 厨庆丰. 秸秆还田中多糖的效应. 土壤肥料, 1992 (4): 16-18
- [11] Jastrow JD. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biochemistry*, 1996, 28(4): 665-676
- [12] Molope MB, Grieve IC, Page ER. Thixotropic changes in the stability of molded soil aggregates. *Soil Science Society of America Journal*, 1985, 49: 979-983
- [13] Kabir Z, Koide RT. The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agricultural Ecosystem Environment*, 2000, 78(2): 167-174
- [14] 王桂君, 张丽辉, 赵骥民, 吴磊. 盐生条件下的 AM 真菌以及 AM 真菌提高植物耐盐性研究. 长春师范学院学报, 2004, 23(4): 64-68
- [15] 杨长明, 欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响. 土壤, 2008, 40(1): 100-105

Influence of Saline-Alkali -Tolerant Bacteria Combined with Organic Matter on Formation of Saline-Alkali Soil Aggregates

LIU Cai-xia, HUANG Wei-yi

(College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Column and pot culture experiments were carried out to study the effects of saline-alkali-tolerant bacteria screened from coastal saline-alkali soil combined with organic matter on the formation of saline-alkali soil aggregates and the growth of corn. Results showed that, the inoculation with bacterial strain M6 that can decompose straw and secrete extracellular polymer substances combined with straws that decompose directly in soil has the best effect on the formation of saline-alkali soil aggregates. The percent of large macroaggregates increased to more than 60%. Compared with the decomposed manure the undecomposed straws has a better effect on the formation of saline-alkali soil aggregates. Saline-alkali soil inoculated with bacterial strain M6 has a better effect on the formation of soil aggregates compared with inoculation with bacteria of single function that can decompose straw or secrete extracellular polymer substances. Seed germination, livability and dry weight of maize were all promoted under the inoculation with bacterial strain M6.

Key words: Saline-alkali -tolerant bacteria, Organic matter, Saline-alkali soil, Soil aggregates, Extracellular polymer substances