

# 种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对 土壤微生物区系的影响

林学政, 陈靠山, 何培青, 沈继红, 黄晓航

(国家海洋局第一海洋研究所, 国家海洋局海洋生物活性物质重点实验室, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 利用盐生植物盐地碱蓬对天津河口滨海盐碱地进行生物修复, 研究了其对土壤微生物区系的影响。结果表明, 种植区碱蓬根系土壤的可溶性盐分与对照土壤相比下降了 41% (重量法) 和 37% (电导法); 根系土壤的微生物数量明显增加, 其中细菌、放线菌和真菌分别较对照增加了 2.3 倍、4.3 倍和 71 倍, 与对照相比均为显著性差异。根系微生物的耐盐性结果显示, 随着土壤盐分的降低, 根系微生物生长的最适盐度也随之降低, 耐盐性较低的微生物种群已逐渐成为优势种群。系统发育分析表明, 枯草杆菌属成为植物修复后土壤中的优势种群。

**关键词:** 滨海盐渍土; 盐地碱蓬; 生物修复; 微生物区系

文章编号: 1000-0933(2006)03-0801-07 中图分类号: Q938.1 文献标识码: A

## The effects of *Suaeda salsa* L. planting on the soil microflora in coastal saline soil

LIN Xue-Zheng, CHEN Kao-Shan, HE Pei-Qing, SHEN Ji-Hong, HUANG Xiao-Hang (First Institute of Oceanography, SOA, Key Lab of Marine Bioactive substances, SOA, Qingdao 266061, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 801-807.

**Abstract:** Bioremediation, a rising environmental biotechnology, increasingly plays an important role in controlling the pollution in soil, surface water and ground water. It has many merits such as low cost, good cleanup effect and no secondary pollution compared with the traditional physical and chemical remediation techniques. Cultivating with saline-enduring and saline-avoiding plants can effectively improve saline soil. The improvement effects ought to be studied not only on the physical and chemical properties but also on the biological characters. Bioremediation of coastal saline soil was carried out by planting halophyte *Suaeda salsa* L in Tianjin estuarine area. The effects on the soil microflora were studied by comparing the content of soluble salt, the microbial amount and the transition of dominant microflora in soil. The results showed that the content of soluble salt in *S. salsa* planted soil decreased by 41% (method of weight) and 37% (method of electric conductivity) compared with that of control respectively. It revealed that the halophyte *S. salsa* was salt-absorbing plant for saline soil. The results also showed that the microbial amounts were increased with the decrease of the soluble salt in the soil around *S. salsa* L. root system. The bacteria, actinomycete and fungi were increased 2.3 times, 4.3 times and 71 times respectively. The salinity for optimal growth of bacteria decreased synchronously with the decrease of salinity in the soil of root system. The bacteria with the lower ability of salt-tolerance have been becoming the dominant flora. The phylogenetic analysis based on the 16S rDNA indicated that the planting of *S. salsa* L also had effects on the sorts of bacteria in soil. *Bacillus* sp. became the dominant flora in saline soil after bioremediation by *S. salsa*. All these results demonstrated the remarkable improvement effect of ecosystem after *S. salsa* planting on coastal saline soil.

**Key words:** coastal saline soil; *Suaeda salsa* L; bioremediation; microflora

基金项目: 国家高新技术研究发展计划资助项目(2002AA648010)

收稿日期: 2005-08-10; 修订日期: 2006-01-25

作者简介: 林学政(1971~), 男, 山东栖霞人, 副研究员, 博士, 主要从事极端环境微生物学研究. E-mail: linxz@fio.org.cn

Foundation item: The project was supported by the high technology research and development program of China (No. 2002AA648010)

Received date: 2005-08-10; Accepted date: 2006-01-25

Biography: LIN Xue-Zheng, Ph.D., Associate professor, mainly engaged in extreme environmental microorganism. E-mail: linxz@fio.org.cn

海岸带具有大量的待开发利用的盐渍土。土壤含盐量较高及季节性土壤返盐是沿海滩涂植物立苗的限制因子,土壤物理和化学性状不良是植物生长发育的主要障碍,土壤酶及土壤微生物等活性物质种类和数量偏小是影响滩涂生态系统物质循环及土壤资源为植物持续利用的重要因素。滨海盐渍地除少部分耕种外,大部分为荒地和海涂地。而且由于污染的日益加重,使某些地域的生态系统遭到毁灭性的破坏。为开发和利用这一土地资源,人们进行了不懈的努力,开展了各种形式的植树造林、土壤改良和农田开垦,取得了一定的成绩,如利用盐生植物建植的人工植被能够改良土壤,治理盐渍化,对保护和改善生态环境起到了积极的作用<sup>[1-4]</sup>。

植物除了直接吸收、固定、分解污染物外,通常只是间接地参与土壤中污染物的降解,它通过与土壤中细菌、真菌等微生物种群的相互作用,改变微生态,改善微环境,从而对退化的环境进行修复。因此,植物对环境的修复过程是由高等植物、真菌、细菌等微生物共同组成的整体来完成的,其中包括许多物理的、化学的和生物的过程<sup>[5]</sup>。已有的研究表明,利用耐盐植物对盐碱地和滨海盐渍土进行生物修复,对这类土壤有明显改善的作用。如改善土壤结构,降低土壤的盐度和容重,增加土壤的孔隙率,增加土壤有机质和总氮,土壤的生物活性如土壤微生物和土壤酶也有显著提高<sup>[3, 6, 7]</sup>。

土壤是无机物、有机物和生物(主要是微生物)的有机复合体。土壤微生物作为土壤生态系统中的主要组成部分之一,是生态系统的分解者,也是物质循环和能量交流的承担者。土壤微生物和土壤酶作为土壤的活性物质,能够直接参与并促进土壤中一系列复杂的生理生化反应,它们既是土壤生态系统中物质循环和能量转化畅通的前提,也是土壤生态系统发育成熟与否和系统资源能否高效持续利用的重要标志<sup>[1, 8, 9]</sup>。因此,研究种植盐生植物改良滨海盐渍土的效果,不仅应该对种植前后的土壤理化指标进行考察,而且研究土壤微生物区系及其性质的改变也应是重要的考察内容,但目前这方面的研究报道很少。

利用种植盐生植物盐地碱蓬对天津河口“863 河口生态重建示范区”滨海盐碱土进行了生物修复。为考察修复效果,选择种植盐地碱蓬的区域和空白地(对照)对微生物区系及其对生长限制因子的适应性进行了研究,旨在了解在生物修复过程中微生物的变化与土壤环境因子变化的关系,评价盐生植物改良滨海盐渍土的效果。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品的采集

采样时间为 2004 年 10 月 14 日;样品采自天津 863 河口生态重建示范区,种植盐地碱蓬修复 2a,采取根系(0~20 cm)的土壤,以空白地土壤作为对照,各采样 4 份待分析。

1.2 土壤含水量测定 采用文献<sup>[10]</sup>方法。

1.3 土壤可溶盐分 采用重量法和电导法进行分析<sup>[10]</sup>。

### 1.4 土壤微生物含量的测定

细菌采用 2216E 好气异养菌培养基,放线菌采用改良的高氏 1 号培养基,丝状真菌采用马丁氏培养基。每个样品取 4 个平行样进行测定和数据分析,以个/g 干土 计算土壤中可培养微生物的数量。

### 1.5 土壤微生物盐适应性的变化

从示范区土壤理化性质的分析看,影响生物生长的主要胁迫因子为盐度。当种植盐地碱蓬后,土壤中特别是根系土壤的盐度有明显降低,盐度的变化必然对根系微生物群落的耐盐性产生影响。从根系土壤和对照土壤分离的细菌在不同的盐度下培养,测定其最适生长盐度。

### 1.6 盐度对优势菌群生长的影响

在 2216E 好气异养菌液体培养基中添加不同量的 NaCl,使其盐度分别为 0、15、30 和 45,接种从土壤中分离到的优势菌群,37℃ 培养 24h 后用分光光度计(UNIC 7200)于 550nm 测定其光密度值。

### 1.7 土壤微生物优势菌群的系统发育分析

(1)DNA 模板的制备 将 50 $\mu$ l 的处于指数生长期的细菌培养液加入 100 $\mu$ l 的预冷蒸馏水中,在冰上放置

1h 以上或 3 次冻融循环(-10℃/60℃)。

(2)16S rDNA 的 PCR 扩增 采用细菌 16S rDNA 的通用引物 27F(5'AGAGTTTGATCCTGGCTCAG3')和 1492R(5'GGTTACCTTGTACGACTT3')进行,PCR 反应条件为:95℃ 1min,55℃ 1min,72℃ 1.5min,循环 30 次,72℃ 延伸 10min。

PCR 产物经琼脂糖电泳回收纯化后克隆到 pMD-18T(Takara)质粒载体上,并转化大肠杆菌 JM109 感受态细胞,通过蓝白斑筛选初筛出阳性克隆子,并通过 PCR 法(R 引物 RV-M:5'GAG CGG ATA ACA ATT TCA CAG G3'和 F 引物 M13-47:5'CGC CAG GGT TTT CCC AGT CAC GAC3'),进行插入片断大小的验证。克隆文库用 LB 培养基(含 15%甘油和 100μg/ml 氨苄青霉素)于-80℃超低温冰箱中保存。

(3)16S rDNA 序列测定与系统进化关系的分析 对经 PCR 验证的阳性克隆子进行测序,由上海英骏生物技术有限公司完成,测序结果用 DNAMAN 软件拼接并去除两端的载体序列,得到约 1.5kb 的 16S rDNA 序列。

将所测定的 8 株细菌的 16S rDNA 序列同 Gen-Bank 数据库(GenBank + EMBL + DDBJ + PDB)(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast/blast.cgi>)进行相似性比较分析,选取与实验菌株亲缘关系较近者用 BioEdit 软件的多序列比对排列(Clustalw multiple alignment)进行序列比对,系统发育分析采用 Mega3 软件的邻接法(neighbor-joining method)进行。

## 2 结果与分析

示范区表层土壤基本为重粘土或中粘土,从剖面层次上看,上层粘重,下层较轻,总体土壤质地粘重,有机质含量较低。由于土壤透水性差,地下水位高,土壤下层呈青灰色,潜育层发育明显,呈现出较强的还原作用。水溶盐和总碱度检测结果说明土壤盐渍化程度较高,是制约植物生长的主要因素。重金属含量基本达到植物生长要求。

### 2.1 土壤含水量的测定

土壤含水量的测定结果如表 1 所示。可以看出,种植碱蓬的根系土壤与对照相比,含水量增加 11%,经 *t* 检验,二者为显著性差异( $p = 0.024$ )。

### 2.2 土壤可溶性盐分的分析

种植碱蓬根系土壤和对照土壤的可溶盐分分析结果如表 2 所示。结果表明,种植碱蓬后,其根系土壤的可溶盐分有较大幅度降低。重量法和电导法两种测定方法均表明,与对照土壤相比,碱蓬根系土壤可溶盐分降低 41%和 37%,经 *t* 检验,重量法和电导法的测定结果与对照相比均为显著性差异( $p$  值分别为 0.018 和 0.016)。

### 2.3 土壤微生物数量的变化

种植碱蓬根系土壤与对照土壤微生物数量的变化如表 3 所示。可以看出,种植盐生植物碱蓬对增加土壤微生物的数量,改善微生态环境起着明显的作用。与对照土壤相比,细菌、放线菌和真菌的数量分别增加了 2.3 倍、4.3 倍和 71 倍,三者相比均为显著性差异( $p$  值分别为 0.002、 $9.85 \times 10^{-4}$  和 0.02)。

### 2.4 土壤微生物盐适应性的变化

将从碱蓬根系土壤和对照土壤分离到的细菌分别在盐度分别为 0、15‰、30‰和 45‰的 2216E 好气异养培养基中培养,比较两组细菌的最适生长盐度在不同盐度上的比例,结果如表 4 所示。可以看出,随着根系土壤可溶盐分的降低,与之相对应的是细菌群落对盐的适应性也随之发生了变化,如在对照土壤中,最适生长盐

表 1 土壤含水量的测定

土壤类型 Soil type	含水量(%) Water content				平均(%) Average
对照 Control	22.17	24.67	24.58	24.22	23.66 ± 1.19
根系土 Root system soil	25.58	25.71	27.92	26.29	26.38 ± 1.08

表 2 土壤可溶性盐含量的测定

土壤类型 Soil type	重量法( $\times 10^{-2}$ ) Method of weight		电导法( $\times 10^3 \mu\text{s}/\text{cm}$ ) Method of conductivity	
对照 Control	2.76	2.39 ± 0.35	3.34	2.98 ± 0.76
	2.06		2.74	
	2.63		3.22	
	2.12		2.60	
根系土 Root system soil	1.38	1.39 ± 0.09	1.78	1.88 ± 0.49
	1.47		1.92	
	1.26		1.82	
	1.43		1.98	

度在 0 和 30 的细菌比例分别为 25% 和 34%，而在碱蓬根系土壤中，该比例分别为 44% 和 12%。生长最适盐度为较高实验浓度(30、45)与生长盐度为较低盐度(0、15)的比例在对照土壤和根系的比例分别为 41:59 和 16:84。由此可以看出，随着种植碱蓬，根系土壤可溶盐分的降低，其细菌群落的最适生长盐度也随之降低。

2.5 盐度对优势菌群生长的影响

从示范区土壤理化性质的分析看，影响生物生长的主要胁迫因子为盐度。当种植盐地碱蓬后，土壤中特别是根系土壤的盐度有明显降低，盐度的变化对优势种群的耐盐性的变化的影响见表 5。可以看出，种植耐盐植物后不仅土壤中微生物的数量有明显的增加，而且优势种群的耐盐性也发生变化。由于耐盐植物根系土壤盐度的降低，其优势种群的盐耐受性也发生了变化，一些菌群在高盐度(45)下几乎不能生长。该结果说明，种植耐盐植物后不仅土壤微生物的数量有了明显的增加，而且根际微生物优势种群的性质也有了明显的改变。

2.6 土壤微生物群落的变化

将 8 株优势种群细菌的 16S rDNA 的阳性克隆子进行测序，获得长度约为 1.5kb 的 16S rDNA 序列。将这些序列与 GenBank 数据库进行比较，与 8 株实验菌株同源性最高的 2 株细菌如表 6 所示。一般认为，16S rDNA 序列同源性小于 98%，可以认为属于不同的种，同源性小于 93%~95%，可以认为属于不同属。因此，通过 16S rDNA 序列的比较分析，对照土壤细菌的优势种群应分别属于假单胞菌属 (*Pseudomonas* sp.)，*Planomicrobium* sp.，枯草杆菌属 (*Bacillus* sp.)；而碱蓬根系土壤的细菌优势种群均为枯草杆菌属 (*Bacillus* sp.)。

将测定的 8 株优势菌株的 16S rDNA 序列提交 GenBank 数据库，获得的序列注册号分别为 DQ084462-DQ084469。

选取与实验菌株亲缘关系较近的细菌，用 BioEdit 软件进行序列比对，采用 Mega3 软件的邻接法构建系统发育树，如图 1 所示。

由系统发育分析，对照土壤的细菌优势种群分别为细菌域 (Bacteria) 中的紫细菌 (*Proteobacteria*) 类群中的  $\gamma$ -亚群，假单胞菌目 (*Pseudomonadales*)，假单胞菌科 (*Pseudomonadaceae*)，假单胞菌属 (*Pseudomonas*)；细菌域的厚壁菌门 (*Firmicutes*)，芽孢杆菌目 (*Bacillales*)，动性球菌科 (*Planococcaceae*)，*Planomicrobium* sp.；细菌域的厚壁菌门 (*Firmicutes*)，芽孢杆菌目 (*Bacillales*)，枯草杆菌科 (*Bacillaceae*)，枯草杆菌属 (*Bacillus*)。碱蓬根系土壤的优势种群均为细菌域的厚壁菌门 (*Firmicutes*)，芽孢杆菌目 (*Bacillales*)，枯草杆菌科 (*Bacillaceae*)，枯草杆菌属 (*Bacillus*)。由系统发育分析可见，该结果与 16S rDNA 的序列同源性比较结果相一致。

3 讨论

杨永利等<sup>[11]</sup>通过对天津经济技术开发区自然地貌的分析，根据荒漠化的新概念，判定该区为典型的滨海

表 3 种植耐盐植物土壤与对照土壤微生物数量的变化(个·g<sup>-1</sup>干土)

Table 3 Variation of microorganism quantity in soil planted *Suaeda salsa* and contrast(·g<sup>-1</sup> dry soil)

土壤类型 Soil type	细菌 (×10 <sup>6</sup> ) Bacteria		放线菌 (×10 <sup>4</sup> ) Actinomycetes		真菌 (×10 <sup>3</sup> ) Fungi	
对照 Control	2.54	2.14 ± 0.47	5.52	7.04 ± 1.26	0.47	0.47 ± 0.25
根系土 Root system soil	1.48		7.73		0.51	
	2.10		8.80		0.15	
	2.42		16.05		0.76	
根系土 Root system soil	8.18	7.04 ± 1.26	32.45	37.92 ± 7.47	56.32	33.95 ± 15.06
根系土 Root system soil	5.38		39.93		28.79	
对照 Control	7.82		31.67		27.02	
根系土 Root system soil	6.78		47.64		23.67	

表 4 根系土壤与对照土壤细菌最适盐度的比例比较

Table 4 Comparison of ratio of optimal salinity of bacteria in root system soil and control

土壤类型 Soil type	盐度 Salinity			
	0	15	30	45
对照 Control	25	34	34	7
根系土 Root system soil	44	40	12	4

表 5 盐度对优势菌群生长的影响

Table 5 Effect of Salinity on the dominant flora

菌株 Strain	盐度 Salinity			
	0	15	30	45
对照 Control	1.763	1.612	1.398	0.960
	1.580	1.456	1.393	1.315
	1.253	1.410	1.371	1.155
	0.911	1.164	1.125	0.992
根系土 Root system soil	1.447	1.236	1.084	0.255
	1.509	1.563	1.298	0.976
	0.445	0.497	0.425	0.325
	1.174	1.285	1.227	1.192

\* \* 表中数据为培养液的光密度值 Data in the table were OD values of culture

表 6 8 株优势细菌的 16S rDNA 序列同源性比较结果

Table 6 Homology comparison of 16S rDNA sequences of 8 strains of dominant flora

菌株 Strain	注册号 Accession number	两株相似性最高的参考菌株 (%) Two reference strains with high similarity	注册号 Accession number
对照 Control	1	DQ084462 Uncultured eubacterium WD259(99.13) <i>Pseudomonas</i> sp. NZ099(99.13)	AJ292672 AF388207
	2	DQ084463 <i>Bacillus</i> sp. MN-003(99.26) <i>Bacillus aquimaris</i> (99.26)	AF355627 AF438625
	3	DQ084464 <i>Planomicrobium koreense</i> (98.65) <i>Planococcus psychrotoleratus</i> (98.32)	AF144750 AY771711
	4	DQ084465 <i>Bacillus</i> sp. MO12(99.86) <i>Bacillus</i> sp. (99.80)	AY553105 AJ000648
根系土 Root system soil	5	DQ084466 <i>Bacillus aquimaris</i> (99.87) <i>Bacillus</i> sp. CR1-2(99.86)	AY505499 AY205296
	6	DQ084467 <i>Bacillus aquimaris</i> (99.73) <i>Bacillus marisflavi</i> strain TF-11(99.73)	AY505499 AF483624
	7	DQ084468 <i>Bacillus mycoides</i> (99.87) <i>Bacillus mycoides</i> strain 6462(99.87)	AF155957 AF155956
	8	DQ084469 <i>Bacillus aquimaris</i> strain MSU1110(99.25) <i>Bacillus</i> sp. (98.87)	AY647307 AF355627

重盐渍荒漠化地区,是滨海新区的代表。作者依据生态重建的相关理论,确定了生态重建的技术体系,其中以引种、筛选耐盐植物和培育转基因耐盐植物的生物技术为关键技术。依此在该区域建立了海挡护坡和高速公路的耐盐植物生态景观模式。植被恢复的过程是:先是被称为先锋植物的种类侵入遭到破坏的地方并定居和繁殖,先锋植物改善了被破坏地的环境,使得其他物种侵入并被部分或全部取代,进一步改善环境,更多物种侵入的结果是生态系统逐渐恢复到它原来的外貌和物种。

植物对环境的修复可以包括以下几个方面,如改变土壤水分平衡,植物根系对土壤微环境的改变,根系分布范围内污染物的分解,植物吸收,植物体内的代谢等。

种植碱蓬对土壤的含水量有着影响,这与已有的研究相似。如陈玉华等<sup>[6]</sup>的研究表明,在江苏滨海盐渍土种草建立植被后田间空气湿度增加,气温和风速降低,土壤水分蒸发减少,并可抑制地表返盐。赵可夫等<sup>[3]</sup>的研究也表明,种植盐生植物可以将盐碱土地面覆盖起来,减少土壤水分的蒸发,将部分土壤水分蒸发由植物蒸腾所取代,从而减少土壤返盐,进一步降低耕作层中的盐分。

种植碱蓬后土壤的可溶盐分明显下降,其原因可能是盐生植物能够吸收和积累一定数量的盐分,并利用它们作为渗透调节物质以适应盐碱土的低水势,致使根际土壤含盐量下降。赵可夫等<sup>[3]</sup>将盐生植物盐爪爪(*Kalidium foliatum* (Pall.) Moq.)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa* L. Pall)、中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica* Iljin)、西伯利亚白刺(*Nitraria sibirica* Pall)分别在禹城地区含盐量较高的试验田种植。结果发现,种植 1 个季度后,上述 4 种盐生植物从土壤中吸收的  $\text{Na}^+$  含量为 6 019.2 ~ 9 345.6 kg/hm<sup>2</sup> 不等,植物根部的干重和含盐量只相当于其地上部分的 1/10 左右,因此当植物地上部分收获以后,植物体内所含的盐即可大部分被移走,从而有效地降低土壤的含盐量。张永宏<sup>[12]</sup>在宁夏银北盐碱地上种植耐盐植物红豆草、苜蓿、聚合草、小冠花、苇状羊茅的结果表明,种植耐盐植物具有明显的脱盐作用,可使盐碱地 0 ~ 20 cm、0 ~ 100 cm 土层平均土壤脱盐率分别达 31.1% 和 19.1%,可促进土壤团粒结构的形成,改善土壤理化性质,使土壤有机质、速效氮有所增加。

在植物根系分布范围内土壤微生物量最大,据 Paul 等估计,根际土壤(离根系距离 < 1mm)比非根系土壤的微生物含量可多达 10 倍以上,约 5% ~ 10% 的根系表面被土壤微生物所占据。根系能分泌一些营养物质,如糖类、磷酸、蛋白质等供微生物生存,又能分泌一些特殊的化学物质,如有机酸、酚类等参与污染物的降解<sup>[5]</sup>。

在示范区盐渍土种植碱蓬后,其根系土壤的微生物如细菌、放线菌、真菌同对照土壤相比,含量可增加几倍至几十倍。这主要是由于盐地碱蓬在盐渍土壤中生长时,其枯枝落叶、残留根系和根系分泌物等均有利于

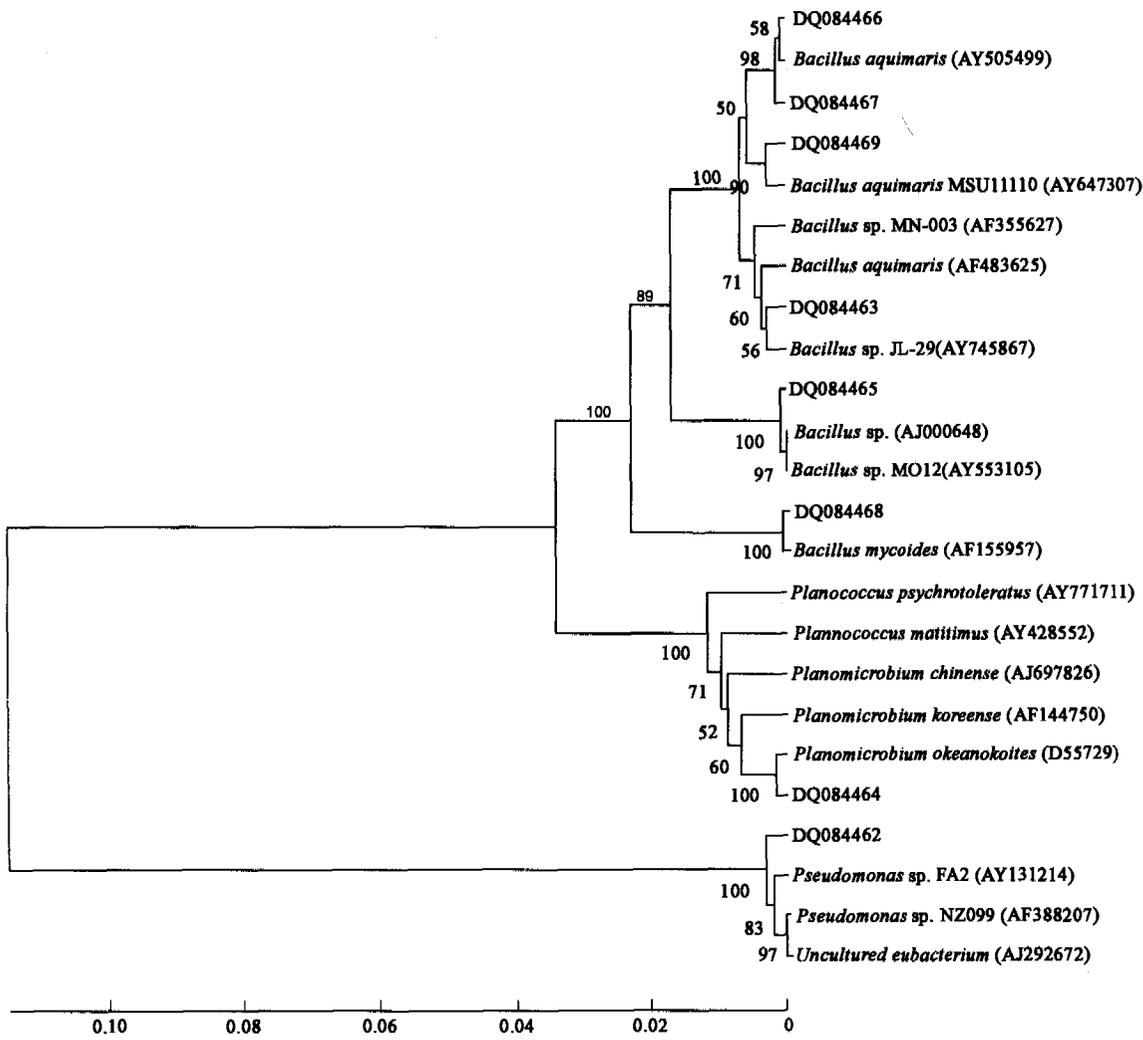


图 1 8 株优势细菌的系统发育分析

Fig.1 Phylogenetic tree of 8 strains of dominant flora

土壤有机物质增长。土壤有机质的增长必然会导致土壤微生物数量和土壤 N 素的增加。土壤微生物增加以后,土壤微生物的活动,植物根系呼吸作用放出的 CO<sub>2</sub> 溶于水后形成的碳酸,以及盐生植物根系分泌的柠檬酸和苹果酸等有机酸,对土壤难溶物质的溶解起到了促进作用,促进了 P、K、Ca 等盐类的溶解,从而全面改善了土壤肥力并促进了植物的生长,形成整个微生态系统向良性循环的方向发展<sup>[3]</sup>。罗明等<sup>[13]</sup>的研究也表明,种植草木樨、碱茅、苜蓿等改良新疆苏打硫酸盐草甸盐土可以降低土壤含盐量,增加土壤养分,改善土壤生态环境,促进土壤微生物的活动。种草后,土壤中微生物总菌量(细菌、放线菌、真菌)均有显著增加,尤其细菌数量的增加最为明显,芽孢细菌数也有增长,固氮菌数量变化不大。

土壤微生物是土壤中物质循环的动力,与土壤肥力、植物生长、土壤改良状况密切相关。土壤微生物盐适应性的变化说明,种植耐盐植物后根际微生物群落的耐盐性也有了明显的改变。究其原因,可能是作为生境生物生长的主要限制因子盐度的降低使盐生碱蓬根际微生物群落组成发生了改变,即由原来耐盐性较低的微生物取代耐盐性较高的微生物成为主要的微生物群落。这一结果也反映了种植盐生碱蓬后,土壤中盐度的降低以及微生态环境的改善。

References:

[ 1 ] Liu D H, Song Z H, Li R J, et al. Study on the improvement effects of shelter forest in argillaceous coast on beach soil. Chinese J Soil Science, 1998,

- 29(6):245~247.
- [2] Yu L, Long J P, Li J J, *et al.* Advances in the study of bioremediation and its application to the coastal wetland. *Advances in Marine Science*, 2002, 20(4):99~108.
- [3] Zhao K F, Fan H, Jiang X Y. Improvement and utilization of saline soil by planting halophyte. *Chin J. Appl. Environ. Biol.*, 2002, 8(1):31~35.
- [4] Wang Y H, Fu R S. The application and advances of bioremediation in China. *J. Shandong Normal University*, 2003, 18(2):79~84.
- [5] Zhong Z K, Gao Z H. The mechanism of phytoremediation and its application prospect. *World Forestry Research*, 2001, 14(3):23~28.
- [6] Chen Y H, Zhou C L. The effects of forage planting on the improvement of coastal saline soil Jiangsu Province. *Grassland of China*, 1996, (3):26~29.
- [7] Dong X X, Guo H H, Kong L A. Effects of *Medicago sativa* L. on the salt character and fertility of coastal saline soil. *Shandong Agricultural Sciences*, 2001, (1):24~25.
- [8] Wei G F. Microorganisms in the soil. *Biology Bulletin*, 1995, 30(2):5.
- [9] Zhang Y B, Wang W Q, Zhuang T C, *et al.* Microbial amounts variation in mudflat soil at southwest in west Xiamen Harbour. *J. Oceanography In Taiwan Strait*, 2000, 19(1):54~59.
- [10] Nanjing Soil Institute of China Scientific Academy. *Physics and Chemistry Analysis of Soil*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 196~208
- [11] Yang Y L, Xu J, Fu D Y, *et al.* Study and Biotechnology Mode of Eco-reconstruction in Coastal Heavy Salty Deserted Land——Take Tianjin Area. *Journal of Agro-Environ Science*, 2004, 23(2):359~363.
- [12] Zhang Y H. Desalination Effects of Salt tolerant Plants Growing in Alkali-saline Soil in Ningxia. *Gansu Agr. Sci. and Techn*, 2005, (3):48~49.
- [13] Luo M, Qiu W, Sun J G. Influence of planting herbage reclamation in saodo sulphate meadow slinge soil on the soil microflora. *J. August 1st Agri College*, 1995, 18(3):35~39.

#### 参考文献:

- [1] 刘德辉, 宋珍海, 李荣锦, 等. 泥质海岸防护林对滩涂土壤的改良效果研究. *土壤通报*, 1998, 29(6):245~247.
- [2] 喻龙, 龙江平, 李建军, 等. 生物修复技术研究进展及在滨海湿地中的应用. *海洋科学进展*, 2002, 20(4):99~108.
- [3] 赵可夫, 范海, 江行语. 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.
- [4] 王一华, 傅荣恕. 中国生物修复的应用及进展. *山东师范大学学报*, 2003, 18(2):79~84.
- [5] 钟哲科, 高智慧. 植物对环境的修复机理及其应用前景. *世界林业研究*, 2001, 14(3):23~28.
- [6] 陈玉华, 周春霖. 种草改良江苏滨海盐土效果的研究. *中国草地*, 1996, (3):26~29.
- [7] 董晓霞, 郭洪海, 孔令安. 滨海盐渍地种植紫花苜蓿对土壤盐分特性和肥力的影响. *山东农业科学*, 2001, (1):24~25.
- [8] 魏功峰. 土壤中的微生物. *生物学通报*, 1995, 30(2):5.
- [9] 张瑜斌, 王文卿, 庄铁诚, 等. 厦门西港西南部潮间带光滩土壤微生物的数量变化. *台湾海峡*, 2000, 19(1):54~59.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 196~208.
- [11] 杨永利, 徐君, 富东英, 等. 滨海重盐渍荒漠化地区生态重建生物技术模式的研究——以天津滨海新区为例. *农业环境科学学报*, 2004, 23(2):359~363.
- [12] 张永宏. 盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果. *甘肃农业科技*, 2005, (3):48~49.
- [13] 罗明, 邱沃, 孙建光. 种草改良苏打硫酸盐草甸盐土对土壤微生物区系的影响. *八一农学院学报*, 1995, 18(3):35~39.