

种植条件下海滨盐土理化性状与生物学特征^{*}

周建¹ 李刚¹ 周建^{1,2} 钦佩^{1**}

(¹ 南京大学盐生植物实验室, 南京 210093; ² 河南科技学院, 河南新乡 453003)

摘要 以苏北海滨盐土种植实验区7个不同特征的地块为对象,研究了海滨盐土基本理化性状及其生物学特征的季节变化,以及其与植物种植和植被条件的关系.结果表明:海滨盐土的土壤性状随种植年限和植被状况的不同有较大的变异性,种植耐盐植物地块平均土壤电导率($0.95 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$)低于自然植被地块($2.77 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$),但部分地块电导率水平较种植前有所升高;土壤肥力普遍较低,水解性氮含量平均低于 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量(除施肥地块)平均低于 $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质含量低于1%,种植耐盐植物地块因施肥而有所改善.土壤电导率和养分水平是影响盐土植被生长与分布的主要因素,前者尤为关键;土壤氮磷含量与微生物数量密切相关.不同植被和干扰状况下土壤性状的季节变化差异明显,植被盖度高、人为干扰少的土壤环境相对稳定,反之则波动剧烈.

关键词 海滨盐土 土壤性状 限制因子 变异系数 干扰

文章编号 1001-9332(2011)04-0964-07 **中图分类号** Q948 **文献标识码** A

Physicochemical and biological characteristics of coastal saline soil under different vegetation cover. ZHOU Jian¹, LI Gang¹, ZHOU Jian^{1,2}, QIN Pei¹ (¹Halophyte Research Laboratory, Nanjing University, Nanjing 210093, China; ²Henan Institute of Technology, Xinxing 453003, Henan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(4): 964–970.

Abstract: Taking seven plots of coastal saline soil under different vegetation cover in North Jiangsu as study sites, this paper studied the seasonal fluctuations of soil basic physicochemical and biological characteristics, and analyzed the relationships between these fluctuations and vegetation cover. In the test plots, there was a greater variability of soil basic physicochemical and biological characteristics. The average soil electrical conductivity was lower in crop plots ($0.95 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) than in natural vegetation plots ($2.77 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), but parts of the crop plots showed an increased soil electrical conductivity compared with pre-planting. Overall, the soil fertility of the plots was generally at a low level, with the hydrolysable nitrogen content averagely lower than $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, available phosphorus content (except fertilized plots) lower than $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and organic matter content less than 1%. Due to fertilization, the soil conditions in crop plots somewhat improved. For the test coastal saline soil, its electrical conductivity and nutrient level were the key factors affecting the vegetation distribution and plant growth, and soil electrical conductivity was most important. There existed close correlations between soil nitrogen and phosphorus contents and soil microbial amount. The seasonal fluctuations of soil characteristics were closely related with vegetation type and human disturbance, being relatively stable under higher vegetation coverage and lesser human disturbance, and dramatic in bare land and castor experimental plots.

Key words: coastal saline soil; soil property; limiting factor; coefficient of variation; disturbance.

海滨盐土生态系统是由海滨湿地自然淤长或人类围垦而形成的,其水文地貌逐渐发生改变,脱离海

洋潮汐影响,植被退化^[1].海滨盐土生态系统形成初期,滩涂土壤由于长期受潮汐的影响,盐分含量高,土体结构发育不明显,理化性质差,肥力水平低,滩面植被稀少^[2].随着降水径流对土壤盐分的淋洗以及植被的发育,海滨盐土生态系统逐渐形成以碱

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD09A04; 2006BAD09A08)资助.

** 通讯作者. E-mail: qinpei@nju.edu.cn
2010-09-25 收稿, 2011-01-05 接受.

蓬(*Suaeda glauca*)-碱蒿(*Artemisia anethifolia*) 群落、
獐茅(*Aeluropus sinensis*)-白茅(*Imperata cylindrica*)
群落及芦苇(*Phragmites australis*)-白茅群落依高程
呈带状或镶嵌分布的自然植被类型^[1,3-4], 总体上
呈进展演替的趋势。

为了加强对海滨盐土土地资源的利用, 引种了
多种耐盐植物。研究表明, 耐盐植物种植可使土壤含
盐量降低, 理化性状得到改善^[5-7], 但相关研究偏重
于调查、模拟不同条件下海滨盐土水盐动态的变
化^[8-10], 缺少野外观测和对土壤、植被状况的全面
分析。实际调查中发现, 一些耐盐植物的移栽、试种
并没有收到理想的效果, 有些甚至加重了土壤盐渍
化, 原有植被出现逆向演替。耐盐植物种植开发作为
一种干扰因素, 对盐土区的土壤、植被产生怎样的影
响尚需进一步讨论。

为了了解耐盐植物种植过程中海滨盐土土壤性
状的变化, 以及其与植被的关系, 本研究对苏北海滨
农场盐土种植区 7 个特征地块进行了一年多的调
查, 分析了不同植被类型、不同种植方式下土壤性状
的季节变化, 旨在了解海滨盐土生态系统发育的关
键因子, 为盐土生态改良提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究区位于江苏省大丰市金海农场(32°59′—
33°03′ N, 120°46′—120°52′ E), 属海滨围垦滩涂,
成陆时间小于 50 a。土壤类型为滨海草甸盐土^[11],
表层土壤平均含盐量 5‰ 左右, 盐渍化在中度水平,
土壤呈碱性, pH 值 8.5 左右, 自然植被类型为碱蓬—
碱蒿群落和白茅-芦苇群落。该地区处于暖温带向北
亚热带过渡地区, 受海洋性和大陆性气候双重影响,
春季回暖迟、气温低, 秋季降温迟、明显偏暖, 年降水
量 800 ~ 1100 mm, 降雨集中在 7—9 月。

自 2007 年起, 在金海农场进行耐盐油料植物海
滨锦葵(*Kosteletzkya virginica*) 以及蓖麻(*Ricinus
communis*) 的种植试验。截至 2009 年, 连作 2 年的海
滨锦葵和蓖麻长势良好。在此基础上, 将部分地块的
2 年生海滨锦葵块根移栽至原来生长有碱蓬、白茅
等原生植被的草滩上, 移栽前对草滩土地进行了翻
耕, 移走块根的地块种植蓖麻, 同时在原蓖麻种植地
块继续连作蓖麻。2009 年 5 月对所有种植地块施肥
一次, 施肥量 360 kg · hm⁻², 成分为过磷酸钙和尿
素(1: 1)。蓖麻种植地块施用了毛霉菌液与 AM 菌
混合的解磷菌剂^[12], 施用量为每株(30 ml + 30 g)。

1.2 样品采集

针对农场的自然植被类型和种植情况, 分别于
2009 年 4 月、6 月、8 月、11 月及 2010 年 4 月、6 月,
对试验区域的裸地(BA)、碱蓬-碱蒿地(JP)、芦苇—
白茅地(LW)、锦葵移栽地(HY)、锦葵连作地
(HL)、蓖麻试验地(BS) 和蓖麻连作地(BL) 7 个样
地进行土样采集, 共采样 6 次, 采样方法为 5 点混合
法, 取样深度 0 ~ 20 cm。以 100 cm³ 取土环刀取上层
土样做土壤容重测定。同时于植物生长旺盛期(8
月) 测定各植被类型的高度、盖度和生物量等。不同
样地植被基本概况见表 1。

1.3 样品分析

1.3.1 土壤理化性状测定 采用环刀法所取土样,
于 105 ℃ 烘箱烘 8 h, 测定土壤含水率和容重。其他
土样置于室内阴凉通风处风干, 剔除石块、根系和动
植物残体后, 倒入陶瓷研钵中研细, 过 1 mm 和
0.25 mm 筛, 分别用于土壤速效成分和有机质分析。
土壤 pH 值测定采用 pH 计(PHS-3C 上海雷磁), 水
土比 5: 1; 含盐量测定采用电导率法(DDS-11A 电
导率仪, 上海雷磁), 水土比 5: 1; 水解性氮测定采
用碱解扩散法; 有效磷测定采用钼锑抗比色法; 速效
钾测定采用乙酸铵浸提火焰分光光度法(FP640 火
焰分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司); 有机
质测定采用重铬酸钾浓硫酸氧化外加加热法^[13]。

1.3.2 土壤微生物数量测定 将新鲜土样带回实验
室后, 用平板涂布法^[14] 计数平板中菌落个数, 转换
为土壤中微生物数量, 细菌采用牛肉膏蛋白胨培养
基, 接种 10⁻² ~ 10⁻⁴ 稀释度土壤溶液; 真菌采用马丁—

表 1 不同样地植被基本概况(2009-08)
Table 1 Characteristics of vegetation in different sampling
plots (2009-08) (mean ± SE, n = 3)

样地 Plot	密度 Density (plant · m ⁻²)	覆盖度 Coverage (%)	株高 Height (cm)	生物量 Biomass (kg · m ⁻²)
BA	0	0	0	0
JP	350 ± 26a	55 ± 4b	20 ± 3cd	0.42 ± 0.10bc
LW	270 ± 16b	95 ± 3a	130 ± 3b	1.45 ± 0.13a
HY	8 ± 2c	20 ± 3c	45 ± 7c	0.14 ± 0.05c
BS	1 ± 0c	25 ± 6c	130 ± 22b	0.22 ± 0.58c
HL	20 ± 3c	90 ± 3a	150 ± 9b	1.95 ± 0.42a
BL	1 ± 0c	65 ± 7b	220 ± 17a	0.89 ± 0.07b

BA: 裸地 Barren land; JP: 碱蓬-碱蒿地 *S. glauca* - *A. anethifolia*
land; LW: 芦苇-白茅地 *P. australis* - *I. cylindrica* land; HY: 锦葵移
栽地 *K. virginica* transplant land; HL: 锦葵连作地 *K. virginica* contin-
uous cropping land; BS: 蓖麻试验地 *R. communis* experiment land;
BL: 蓖麻连作地 *R. communis* continuous cropping land. 同列不同小写
字母表示差异显著(*P* < 0.05) Different letters in the same column in-
dicated significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

孟加拉红培养基, 接种 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ 稀释度土壤溶液; 放线菌采用高氏培养基, 接种 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 稀释度土壤溶液; 每个稀释度 3 个重复。

1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行一维方差分析、主成分分析和相关性分析, 差异显著性采用 Duncan 多重比较; 采用 Microsoft Excel 2003 和 Graphpad Prism 5 软件进行数据统计和做图。

2 结果与分析

2.1 海滨盐土土壤的理化性质

2.1.1 土壤基本理化性质 由表 2 可以看出, 自然植被和种植条件下土壤的理化性状有显著差异。耐盐植物种植地块平均土壤电导率 ($0.95 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 低于自然植被地块 ($2.77 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), 但海滨锦葵移栽和蓖麻试验地块的电导率水平较种植前有所升高。植物种植地块平均土壤养分含量(速效钾除外) 显著高于自然植被地块, 速效钾含量则相反。主成分分析结果表明, 电导率、水解性氮、速效钾、含水率和速效磷分别在前 3 个主分量上占有较大载荷, 说明土壤水盐状况和土壤养分指标是主要的影响因素。

2.1.2 水盐状况的变化 一个地区的土壤水盐状况是由植被、气候、灌溉、地形、土壤和农业生产活动等

诸因素综合决定的^[15]。不同植物的种植方式与气候条件形成的水盐运动规律不同^[16]。本研究中, 各样地土壤含水率的变化趋势基本相同, 但幅度有一定差异; 与其他地块相比, 裸地土壤电导率在 6 月达到最高, 8 月迅速下降, 11 月又有所回升(图 1), 反映了季风区土壤水盐动态基本趋势^[15]。2009 年 6 月土壤含水率较高可能是由于采样期间降雨较多, 但短期的降雨不足以抑制强烈蒸发导致的土壤表层积盐。这表明盐分运移与降水之间是有时滞的^[17]。

耐盐植物种植与自然植被地块间的水盐动态变化没有表现出明显差异, 而与各地块的植被覆盖度相关。在植被覆盖度较高的地块, 水分和盐分波动明显较小, 表明植被能够缓和气候因素导致的土壤水盐的强烈波动。

2.1.3 土壤养分指标的变化 由图 2 可以看出, 各月份土壤水解性氮含量变化不明显; 蓖麻试验田和连作田中土壤有效磷含量变化较大, 2009 年 6 月因施肥其含量迅速上升, 之后随植物生长吸收和流失逐渐降低, 11 月降到最低值; 2010 年末施肥, 但两地块土壤有效磷含量在 4、6 月仍有小幅升高, 可能与 2009 年施用的解磷菌剂有关; 速效钾含量与电导率变化类似, 但趋势较为缓和。因为海滨盐土土壤盐分主要为 NaCl, 钾盐所占比例较小, 而且较多被土壤

表 2 不同样地土壤基本理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of soil in different sampling plots (mean $\pm$ SD, $n = 6$)

样地 Plots	pH	容重 Bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	含水率 Water content (%)	电导率 Electrical conductivity ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	水解性氮 Hydrolyzable N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 Available P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质 Organic matter (%)
BA	8.44 $\pm$ 0.21e	1.69 $\pm$ 0.12a	30.40 $\pm$ 2.86c	5.29 $\pm$ 1.29a	35.31 $\pm$ 2.58f	2.31 $\pm$ 1.01b	266.97 $\pm$ 21.10a	0.51 $\pm$ 0.10c
JP	8.52 $\pm$ 0.07d	1.26 $\pm$ 0.07c	28.15 $\pm$ 0.84d	2.75 $\pm$ 0.60b	40.25 $\pm$ 1.79ef	1.04 $\pm$ 0.58b	244.17 $\pm$ 10.40ab	0.54 $\pm$ 0.06bc
LW	8.64 $\pm$ 0.07c	1.22 $\pm$ 0.07c	30.54 $\pm$ 1.16c	0.27 $\pm$ 0.07d	47.86 $\pm$ 2.97cd	0.81 $\pm$ 0.34b	205.26 $\pm$ 27.05c	0.58 $\pm$ 0.13bc
HY	8.72 $\pm$ 0.16b	1.34 $\pm$ 0.22b	32.61 $\pm$ 2.37a	1.76 $\pm$ 0.67c	42.12 $\pm$ 1.89de	2.19 $\pm$ 1.02b	214.11 $\pm$ 40.89bc	0.66 $\pm$ 0.09b
BS	8.84 $\pm$ 0.34a	1.36 $\pm$ 0.18b	33.16 $\pm$ 2.63a	1.24 $\pm$ 0.98d	54.30 $\pm$ 1.56ab	10.17 $\pm$ 3.02a	222.35 $\pm$ 41.19bc	0.61 $\pm$ 0.12bc
HL	8.64 $\pm$ 0.34c	1.38 $\pm$ 0.06b	31.97 $\pm$ 1.23b	0.54 $\pm$ 0.19d	49.91 $\pm$ 4.54bc	1.92 $\pm$ 0.42b	203.71 $\pm$ 26.28c	0.83 $\pm$ 0.08a
BL	8.62 $\pm$ 0.41c	1.25 $\pm$ 0.08c	27.98 $\pm$ 1.48d	0.25 $\pm$ 0.05d	55.95 $\pm$ 3.68a	11.16 $\pm$ 6.04a	207.18 $\pm$ 19.71c	0.82 $\pm$ 0.17a

表 3 环境因子主分量载荷

Table 3 Load of principle component of environment factors

分量 Variable	主成分 Principle						
	1	2	3	4	5	6	7
pH	0.76	0.60	-0.08	-0.18	0.13	0.02	0.00
土壤容重 Soil bulk density	-0.72	0.39	0.38	0.41	-0.12	-0.03	0.00
含水率 Water content	0.18	0.95	-0.22	0.15	-0.02	0.01	0.00
电导率 Electrical conductivity	-0.96	0.16	0.22	0.00	0.11	0.00	0.00
水解性氮 Hydrolyzable N	0.93	0.00	0.29	-0.06	-0.18	0.09	0.00
有效磷 Available P	0.54	0.13	0.79	-0.23	0.05	-0.07	0.00
速效钾 Available K	-0.93	0.08	0.29	-0.18	0.05	0.12	0.00
有机质 Organic matter	0.73	-0.26	0.20	0.58	0.15	0.05	0.00

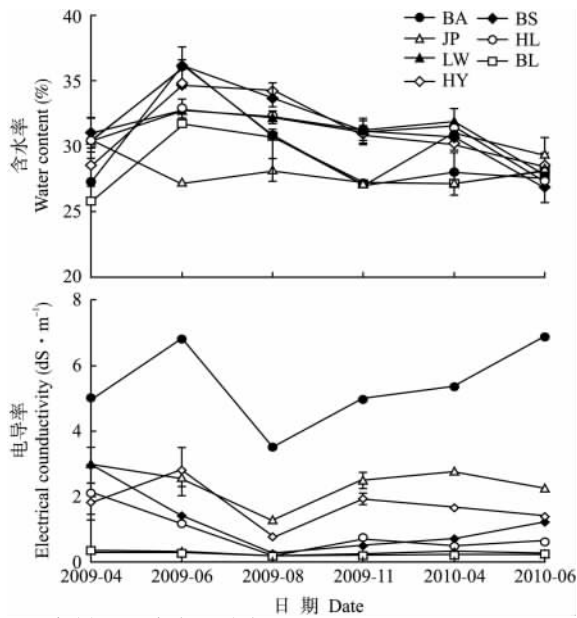


图1 各样地土壤水盐动态

Fig.1 Salt-water dynamics of different sampling plots (mean $\pm$ SE, $n = 3$).

BA: 裸地 Barren land; JP: 碱蓬-碱蒿地 *S. glauca* - *A. anethifolia* land; LW: 芦苇-白茅地 *P. australis* - *I. cylindrica* land; HY: 锦葵移栽地 *K. virginica* transplant land; HL: 锦葵连作地 *K. virginica* continuous cropping land; BS: 蓖麻试验地 *R. communis* experiment land; BL: 蓖麻连作地 *R. communis* continuous cropping land. 下同 The same below.

胶体吸附. 各样地土壤有机质含量在前3个月变动较小,11月因植物残体分解补充而普遍升高;而裸地无植物残体则继续降低. 土壤养分的动态变化与植物凋落物归还和分解的季节性密切相关^[18]. 此

外,耐盐植物种植地块表现出的差异与施肥有很大关系.

2.2 海滨盐土中微生物数量的变化

由图3可以看出,各样地土壤中的细菌、真菌和放线菌数量呈明显的梯度变化. 裸地土壤中细菌、真菌和放线菌数量都显著低于有植被地块,植物种植地块3种微生物在数量梯度上基本居于上层. 蓖麻连作地块土壤3种微生物的数量最多,蓖麻试验田次之,表明种植蓖麻对土壤微生物的生长繁殖有明显的促进作用. 不同月份3种微生物数量均为4月最少,6月最多,8月下降,11月再度升高. 这与肖慈英等^[19]的研究结果相似. 而蓖麻连作地细菌和真菌数量则与蓖麻不同季节的生长状况相似. 这从另一角度说明了蓖麻生长对土壤微生物的促进作用.

2.3 各样地土壤环境的变异系数比较

为了总体了解各样地土壤环境的波动程度,将其土壤理化性状与微生物数量的时间变异系数相加,作为每个样地土壤环境的总时间变异系数(图4). 结果表明,裸地和蓖麻试验地变异系数最大,其次为锦葵移栽地和蓖麻连作地,两个自然植被地块和锦葵连作地变异系数较小. 这与各地块的植被覆盖度和人为干扰程度密切相关.

2.4 土壤理化性状、微生物数量和植被指标的相关关系

由表4可以看出,土壤电导率除与土壤容重和速效钾含量显著正相关外,与其他土壤养分指标、微

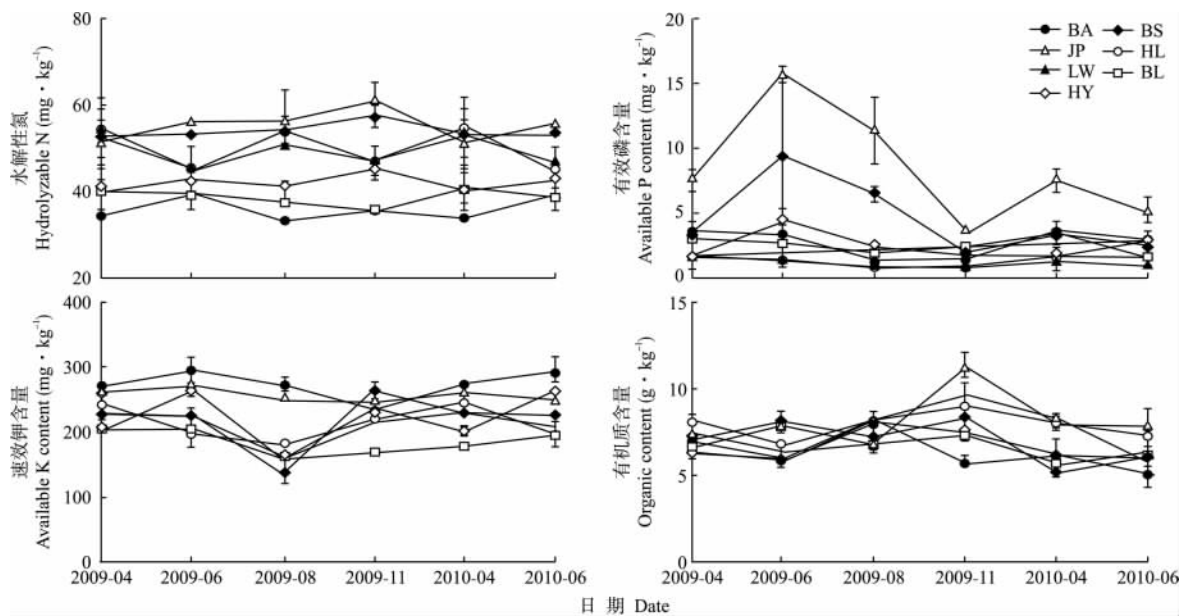


图2 各样地土壤养分的变化

Fig.2 Soil nutrient dynamics of different sampling plots (mean $\pm$ SE, $n = 3$).

表 4 土壤理化指标及微生物数量与植被指标的相关系数
Table 4 Correlativity analysis between soil properties and microbe numbers and characteristics of vegetation

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
X_1	1											
X_2	0.820*	1										
X_3	-0.571	-0.849*	1									
X_4	-0.143	-0.323	0.738	1								
X_5	0.724	0.968**	-0.764*	-0.224	1							
X_6	-0.332	-0.681	0.684	0.397	-0.732	1						
X_7	-0.747	-0.872*	0.944**	0.709	-0.776*	0.646	1					
X_8	-0.415	-0.666	0.751	0.659	-0.550	0.178	0.843*	1				
X_9	-0.645	-0.715	0.834*	0.794*	-0.640	0.612	0.944**	0.816*	1			
X_{10}	-0.681	-0.753	0.486	-0.155	-0.698	0.490	0.506	0.268	0.261	1		
X_{11}	-0.531	-0.848*	0.946**	0.636	-0.792*	0.785*	0.907**	0.668	0.798*	0.614	1	
X_{12}	-0.666	-0.676	0.456	-0.183	-0.682	0.608	0.375	0.059	0.120	0.927**	0.614	1

X_1 : 土壤容重 Soil bulk density; X_2 : 电导率 Electrical conductivity; X_3 : 水解性氮 Hydrolyzable N; X_4 : 有效磷 Available P; X_5 : 速效钾 Available K; X_6 : 有机质 Organic matter; X_7 : 细菌 Bacteria; X_8 : 真菌 Fungus; X_9 : 放线菌 Actinomycete; X_{10} : 植被盖度 Vegetation coverage; X_{11} : 平均株高 Average height. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

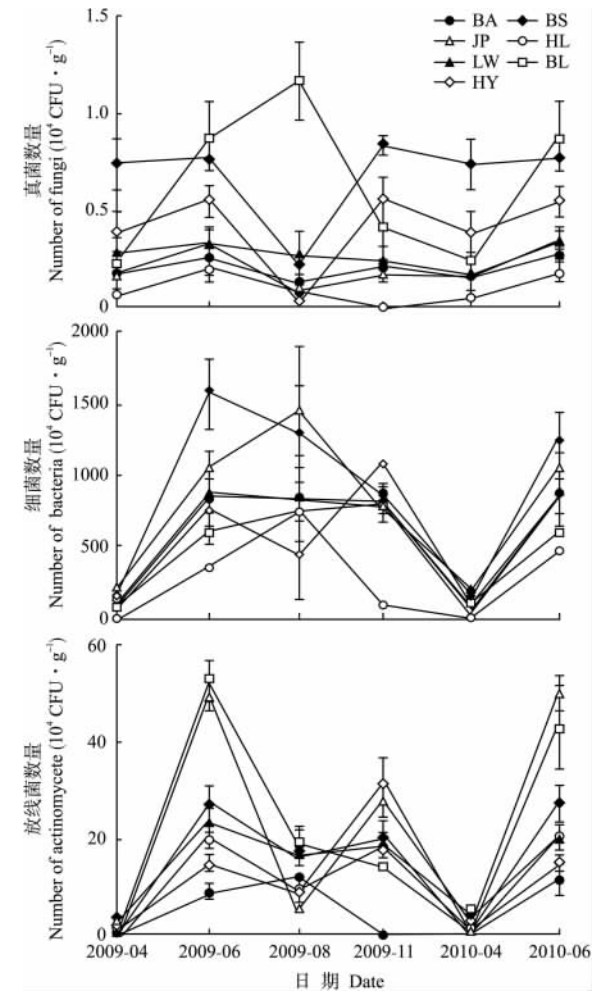


图 3 各样地土壤微生物数量动态
Fig. 3 Microbe number dynamics of different sampling plots (mean $\pm$ SE, $n = 3$).

生物数量及植被指标均呈负相关关系,而水解性氮含量与土壤微生物数量和植被平均高度呈显著正相

关. 氮与植被层高度的这种相关关系与苏洁琼等^[20]的研究结果相似. 另外,土壤中有有效磷含量与真菌数量呈显著正相关,可能与试验田中施用的解磷菌剂(真菌)有关,同时也说明海滨盐土土壤中解磷菌的主要类群为真菌. 3 种微生物的数量间都呈显著相关关系;细菌、放线菌数量和植被高度呈显著正相关.

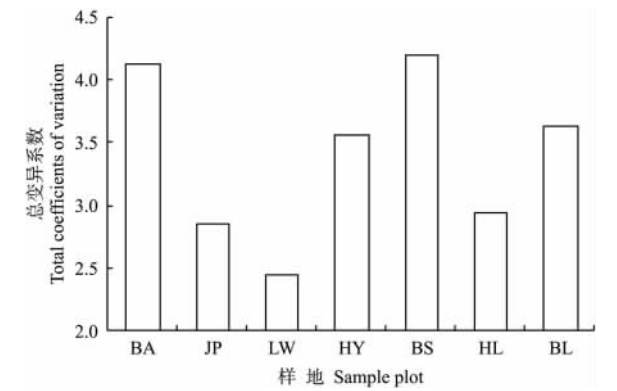


图 4 不同样地土壤环境的时间变异系数
Fig. 4 Variation coefficients of soil environment with time in different sampling plots.

3 讨 论

土壤理化性质差、肥力水平低是海滨盐土的重要特征,同时也是对其进行改良利用的关键制约因子^[2]. 本研究所调查的地块中,自然植被的土壤电导率本身有较高的异质性(0.27 ~ 5.29 dS $\cdot$ m⁻¹),且与植被生长状况密切相关;土壤养分则均处于较低水平,水解性氮低于 50 mg $\cdot$ kg⁻¹,有效磷低于 3 mg $\cdot$ kg⁻¹,有机质低于 1%.

种植耐盐植物后,不同地块的土壤电导率变化有很大差异,连作地块电导率低于自然植被的平均水平,而海滨锦葵移栽和蓖麻试验地则显著升高,并且在第2年撂荒后形成了以碱蓬、碱蒿为主的稀疏植被,植被覆盖出现退化趋势。

氮和磷是生态系统第一性生产力的两个关键性限制因子^[21]。Sundareshwar 等^[22]研究表明,海滨盐沼生产力限制因子中,磷是氮转化细菌生长繁殖的限制性因素,说明磷在海滨盐沼限制性营养元素中的重要性要高于氮。本研究中,氮与植被的生长和分布的相关性比磷显著,而与土壤微生物数量的相关性也高于磷,而且二者的作用受到土壤电导率的制约。

人为干扰是土壤环境因子和植被变化的重要影响因素,尤其是对于较为脆弱的生态系统^[23-24]。本研究中,在植被覆盖度较高、人为干扰小的碱蓬滩、芦苇-白茅草地及海滨锦葵连作地,土壤环境较为稳定,有利于植被的进一步发育;裸地、海滨锦葵移栽地和蓖麻试验地土壤环境波动性较大,变异系数比其他地块高。蓖麻试验地土壤电导率本应与海滨锦葵连作地处于同一水平($0.2 \sim 1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$),但锦葵块根的移除和土地的翻动,使表层土壤电导率平均值和波动幅度都大幅上升($0.5 \sim 3.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$),并且在之后的一年内未能恢复到原有水平,使蓖麻的种植试验基本失败;锦葵移栽地块同样如此,移栽前的翻耕去除了原有植被,又将下层含盐量较高的土壤翻到表层。虽然土壤疏松可以减弱盐分随毛细作用上升,但表层植被的缺失使土壤环境受气候条件的影响更加强烈。

两种耐盐油料植物对盐分的耐受性不同,海滨锦葵生态幅较宽,土壤电导率低于 $2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 时基本能生长;在 $0.2 \sim 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的范围内长势较好,生物量达 $1.9 \text{ kg DM} \cdot \text{m}^{-2}$;高于 $1.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 则长势减弱,株高和生物量显著降低。蓖麻在土壤电导率低于 $0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 时长势良好,株高达 2.5 m ;在平均电导率 $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 的试验地中则出现存活率低、长势羸弱的情况,株高不超过 1.5 m 。

海滨盐土是一个较为脆弱的生态系统,植被生长维持的平衡很容易人为干扰打破,且不易恢复,因而在开垦种植过程中,除了针对土壤状况选择耐盐性较强的植物品种外,还要注意原生植被的破坏可能造成土壤表层电导率的升高和剧烈波动。

参考文献

[1] Qin P (钦 佩), Zuo P (左 平), He Z-X (何 祯

祥). *Coastal Systems Ecology*. Beijing: Chemical Industry Press, 2004 (in Chinese)

[2] Qin P (钦 佩), Zhou C-L (周春霖), An S-Q (安树青), et al. *Agro-ecological Engineering on Coastal Saline Soil*. Beijing: Chemical Industry Press, 2002 (in Chinese)

[3] Zhao X-L (赵小雷), Ling Y (凌 云), Zhang G-F (张光富), et al. Community characteristics of beach wetland vegetations along a habitat gradient in Dafeng Milu Reserve of Jiangsu Province. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2010, **29**(2): 244 - 249 (in Chinese)

[4] Shen Y-M (沈永明), Zeng H (曾 华), Liu Y-M (刘咏梅), et al. Characteristics of halophyte and associated soil along aggradational muddy coasts in Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(1): 1 - 6 (in Chinese)

[5] Liu Y-X (刘玉新), Xie X-D (谢小丁). Biological improvement of salt-tolerant plants on saline lands. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science) (山东农业大学学报·自然科学版), 2007, **38**(2): 183 - 188 (in Chinese)

[6] Zhao K-F (赵可夫), Fan H (范 海), Jiang X-Y (江行玉), et al. Improvement and utilization of saline soil by planting halophyte. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2002, **8**(1): 31 - 35 (in Chinese)

[7] Xu M-G (徐明岗), Li J-M (李菊梅), Li Z-J (李志杰). Salt-tolerance plants used for improving agricultural environments in saline soil regions. *Soils and Fertilizers Sciences in China* (中国土壤与肥料), 2006(3): 6 - 10 (in Chinese)

[8] Manoranjan KM, Sadiqul IB, Danielito TF. Soil salinity reduction and prediction of salt dynamics in the coastal ricelands of Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 2001, **47**: 9 - 23

[9] Li H-F (李海锋), Yang J-S (杨劲松), Chen D-M (陈德明). Effects of different measurements on soil salinity dynamics under cropping. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2001, **32**(suppl. 1): 64 - 67 (in Chinese)

[10] Zhao G-M (赵耕毛), Liu Z-P (刘兆普), Chen M-D (陈铭达), et al. Simulation on water and salt movement in seashore saline soil under different rainfall intensities. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 2003, **26**(2): 51 - 54 (in Chinese)

[11] Zhang J-M (张俊民), Cai F-Q (蔡凤岐), He T-K (何同康). *Chinese Soil*. Beijing: Commercial Press, 1995 (in Chinese)

- [12] Qin C-Q (秦超琦), Wu X-H (吴向华), Zheng K (郑琨), *et al.* Effects of phosphate-solubilizing fungi on costal saline soil available phosphorous content and salt-tolerant oil plant growth. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2009, **28**(9): 1835–1841 (in Chinese)
- [13] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agricultural Chemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [14] Xu G-H (许光辉), Zheng H-Y (郑洪元). Soil Microbe Analysis Handbook. Beijing: China Agriculture Press, 1986 (in Chinese)
- [15] Shi Y-C (石元春), Li Y-Z (李韵珠), Lu J-W (陆锦文). Salt-water Movement of Saline Soil. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1986 (in Chinese)
- [16] Xu L-G (徐力刚), Yang J-S (杨劲松), Zhang M-X (张妙仙), *et al.* Changes in water and salt regime under planting. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2003, **34**(3): 170–174 (in Chinese)
- [17] Li X-J (李晓军), Li Q-S (李取生). Comparative study on the water-salt dynamics of different land covers in western Songnen Plain. *Ecology and Environment* (生态环境), 2005, **14**(3): 399–404 (in Chinese)
- [18] Qiu E-F (邱尔发), Chen Z-M (陈卓梅), Zheng Y (郑郁), *et al.* Dynamics of litterfall and its decomposition and nutrient return of shoot-used *Dendrocalamus latiflorus* in mountainous areas of Fujian Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(5): 811–814 (in Chinese)
- [19] Xiao C-Y (肖慈英), Ruan H-H (阮宏华), Tu L-B (屠六邦). Biological characteristics of different forest soils in Nanjing – Zhenjiang mountain area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(9): 1077–108 (in Chinese)
- [20] Su J-Q (苏洁琼), Li X-R (李新荣), He H-Y (贺郝钰), *et al.* Responses of herbaceous layer vegetation to nitrogen fertilization in Shapoto Area. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2010, **29**(2): 309–313 (in Chinese)
- [21] Vitousek PM, Aber JD, Robert W, *et al.* Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications*, 1997, **7**: 737–750
- [22] Sundareswar PV, Morris JT, Fornwalt B. Phosphorus limitation of coastal ecosystem processes. *Science*, 2003, **299**: 563–565
- [23] Zhou Z-C (周正朝), Shangguan Z-P (上官周平). Dynamic changes of soil ecological factors in Ziwuling secondary forest area under human disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(9): 1586–1590 (in Chinese)
- [24] Yu L-F (喻理飞), Zhu S-Q (朱守谦), Ye J-Z (叶镜中), *et al.* Evaluation on degradation of Karst forest community and human disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(5): 529–532 (in Chinese)

作者简介 周建,男,1986年生,硕士研究生.主要从事海滨生态系统研究. E-mail: xxhdlx@163.com

责任编辑 李凤琴
