

## 苏北沿海地区不同盐渍化土壤养分及生物学特性

张莉<sup>1</sup>, 封超年<sup>2</sup>, 卢梦婕<sup>3</sup>, 张焕朝<sup>4\*</sup>

(1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037;  
3. 中山陵园管理局, 南京 210014; 4. 南京林业大学林学院, 南京 210037)

**摘要:** 为了研究土壤发育过程中形成的不同程度盐渍化土壤特性, 以苏北大丰港为研究对象, 探讨不同盐渍化程度下土壤养分及生物学特性的变化特征。研究表明: (1) 近海口处多为盐土与重度盐渍化土壤, 无植被生长; 2~4 km 处以中度盐渍化土壤为主, 植被类型为碱蓬 (*Suaeda salsa*)、盐蒿 (*Artemisia halodendron*)、灰绿灰藜 (*Chenopodium glaucum* Linn.); 大于 4 km 处为轻度盐渍化土壤和非盐土, 以芦苇 (*Phragmites australis*)、茵陈蒿 (*Artemisia halodendron*)、马齿苋 (*Portulaca oleracea* Linn.) 和大豆 (*Glycine max* Linn.)。 (2) 滨海盐土受海水影响, 土壤有机质、全氮速效磷、速效钾含量高于其他盐渍化土壤和非盐土。 (3) 土壤全磷、全钾含量受盐分影响较小, 全磷含量为 1.09~1.51 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾含量为 8.4~9.6 g·kg<sup>-1</sup>。 (4) 不同盐渍化土壤微生物生物量碳含量差异不显著。 (5) 随盐渍化程度降低, 微生物熵呈上升趋势, 但在轻度、中度、重度盐渍化土壤中反应不明显。 (6) 盐分抑制土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化物酶活性, 碱性磷酸酶活性在中度盐渍化土壤达到最低。综合以上, 盐渍化程度不同, 土壤养分、微生物生物量、酶活性的变化趋势不同。去除海水对盐土的影响, 盐分对不同盐渍化土壤特性的影响主要体现为抑制作用。相较于微生物生物量碳, 微生物熵更能反应微生物量的变化。

**关键词:** 土壤盐渍化; 土壤养分; 微生物生物量; 酶活性

中图分类号: S155.293

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)06-0981-07

### Nutrient and biological characteristics of different salinized soils in coastal areas of northern Jiangsu Province

ZHANG Li<sup>1</sup>, FENG Chaonian<sup>2</sup>, LU Mengjie<sup>3</sup>, ZHANG Huanchao<sup>4</sup>

(1. Co-innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing 210037; 2. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037; 3. The Administration Bureau of Dr. Sun Yat-sen Mausoleum, Nanjing 210014; 4. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

**Abstract:** The soil forms different degrees of salinized soil during development, in order to study the characteristics of different degrees of salinized soil. Dafeng Port in northern Jiangsu Province was selected as the research object, the purpose was to investigate the changes of soil nutrient and biological characteristics under different salinization degrees. The results showed that (1) Most of the offshore estuary is saline soil and heavy saline soil, no vegetation can grow; moderately salinized soil is 2-4 km away from the sea, and the vegetation types are *Suaeda salsa* and *Artemisia halodendron*, *Chenopodium glaucum* Linn; lightly salinized soil and non-salt soil is 4 km away from the sea, there are *Phragmites australis*, *Artemisia halodendron*, *Portulaca oleracea* Linn and *Glycine max* Linn. (2) The coastal saline soil is affected by seawater, soil organic matter, total nitrogen available phosphorus and available potassium are higher than other salinized soils and non-salt soils. (3) The content of total phosphorus and total potassium in soil was less affected by salt, the total phosphorus content was 1.09-1.51 g·kg<sup>-1</sup>, and the total potassium content was 8.4-9.6 g·kg<sup>-1</sup>. (4) The difference of microbial biomass carbon content in different salinized soils was not significant. (5) With the decrease of salinization degree, the microbial entropy showed an upward trend, but the reaction was not obvious in mild, moderate and severe salinized soil. (6) Salt inhibited soil urease, sucrase and peroxidase activities, and alkaline phosphatase activity reached the lowest in moderately salinized soil. In general, the

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 [CX(16)1005、CX(17)1004] 和江苏省高校优势学科建设工程共同资助。

作者简介: 张莉, 硕士研究生。E-mail: 314598394@qq.com

\* 通信作者: 张焕朝, 博士, 教授。E-mail: hczhang@njfu.edu.cn

degree of salinization is different, and the trends of soil nutrient, microbial biomass and enzyme activity are different. Salt has an inhibitory effect on soil properties, removing the saline soil which is influenced by sea water. Microbial entropy is more responsive to changes in microbial biomass than microbial biomass carbon.

**Key words:** soil salinization; soil nutrients; microbial biomass; enzyme activity

我国土壤盐碱化问题十分严峻,从内陆到滨海地区,从热带到寒温带,都存在大量盐碱化土壤<sup>[1]</sup>。统计数据显示,我国盐碱化土壤面积约为  $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>,约占可利用土地面积的 4.88%,而由灌溉引起的次生盐渍化问题也十分严峻。这些问题在很大程度上制约了我国农林业发展。江苏省海岸线绵延 954 km,盐碱土面积达 70 万  $\text{hm}^2$ ,是我国集中连片面积最大、生态类型最为齐全且淤长速度较快的滨海盐土<sup>[3]</sup>,已成为江苏农林业发展,乃至我国沿海战略发展的潜在重要土地资源。然而,地下水位较高,海水侵扰频繁等因素导致滨海盐土土壤盐分含量高,物理性质差及养分匮乏<sup>[4-7]</sup>,从而限制了这些土地资源的有效利用。长期以来,人们对滨海地区盐土性质、发育过程及改良利用等方面进行了较多的研究:迟春明等<sup>[8]</sup>对地面植被类型进行研究,结果表明植物生长影响苏打盐渍土剖面盐分分布;李松阳等<sup>[9]</sup>对不同土层土壤养分变化进行分析,认为碱解氮、有机质、速效钾、速效磷是该地区土壤的特征元素;王娜娜<sup>[10]</sup>认为速效钾与全盐含量分布有很强的相关性。但这些研究较少涉及土壤生物学性质,如土壤微生物生物量、酶活性等方面,并且,多数研究是在不同区域条件下或采用盆栽培养实验方法进行,对研究成果的一致性与可比性产生一定的影响。有研究认为,土壤盐渍化对土壤微生物量<sup>[11]</sup>、土壤酶活性<sup>[12]</sup>的不利影响,是盐渍土生产力比较低的主要原因之一。

微生物是生态系统的重要组成部分,在土壤有机碳的积累过程中,微生物是其分解和周转的主要驱动力<sup>[5]</sup>。土壤微生物量易受环境影响,能很好的反映出土壤性质的变化和能量流动及其养分的转移和运输。因此,研究土壤微生物量对于了解土壤养分和转化的过程和供应状况具有十分重要的意义。此外,土壤有机质对微生物生物量碳有一定影响,为了更客观、真实的反映出微生物生物量的变化,可以用微生物熵来表征土壤微生物量<sup>[13]</sup>。微生物熵

反映了土壤中可被微生物利用的底物的有效性和熟化程度。微生物熵随着土壤中盐分的升高而降低<sup>[14]</sup>,盐分对于土壤微生物生物量来说,有一定的抑制作用<sup>[14]</sup>。土壤酶是土壤微生物活动的产物,参与各种生物化学反应,并且起着十分重要的作用。盐分胁迫直接影响着土壤的酶活性,盐渍化土壤全盐量与土壤中过氧化氢酶、转化酶、碱性磷酸酶和脲酶的活性均呈显著负相关<sup>[15]</sup>。

为了完善不同盐渍化程度对土壤特性的研究,本实验选择大丰沿海滩涂地区,对不同盐渍化程度土壤养分含量、微生物生物量和土壤酶活性进行分析,研究土壤在脱盐熟化的过程中,土壤特性变化情况,为滨海盐碱土的治理提供参考。

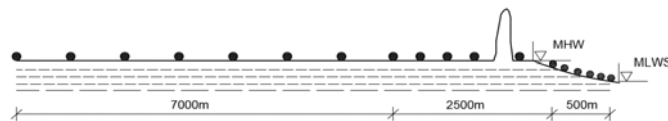
## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于江苏省盐城大丰市大丰港附近 ( $33^{\circ}03' \sim 33^{\circ}00' \text{ N}$ ;  $120^{\circ}46' \sim 120^{\circ}51' \text{ E}$ ),处于亚热带向温带过渡的气候区域,年平均气温  $14.1^{\circ} \text{ C}$ ,年平均降水量为 983 mm,年平均无霜期为 213.5。潮汐平均水位长落差为 3.68 m,整个潮间带宽度为 10~15 km,平均海坡为 0.10%~0.39%。

### 1.2 样点布设

2017年12月上旬于苏北大丰港进行土壤采集。为了构成滨海地区盐土发育进程中不同盐渍化程度的土壤样品比较系列,样点设置从沿海滩涂地起,即平均大潮低水位线 (MLWS) 开始,向内陆纵深方向进行。随入海口距离的增加,前 500 m 每隔 100 m 设置采样点,500~3 000 m 每隔 500 m 设置采样点,3~10 km 每隔 1 km 设置采样点(如图 1),每个采样点作 3 个重复,且每个重复之间间隔不超过 1 m,各采样点取 0~15 cm 的表层土壤样品,共采集 48 个土样。样品采集后,分两份,一份保鲜带回,置于  $4^{\circ} \text{ C}$  冰箱,测定微生物量碳;另一份自然风干,测定土壤理化性质。



MLWS:平均大潮低水位线; MHW:平均高涨水位线 MLWS: average tide low water mark; MHW: average high water mark

图 1 土壤采样点分布图

Figure 1 Distribution of soil sampling sites studied

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 土壤全盐量测定方法** 烘干法测土壤含水量; 用质量法测定土壤全盐量, 土水比为 1:5。

**1.3.2 土壤养分及有机质测定方法** 土壤全氮用凯氏定氮法, 用  $0.02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  滴定; 土壤全磷用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定; 土壤有效磷用  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 土壤全钾用氢氧化钠碱熔-火焰光度法测定; 土壤速效钾用  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸铵浸提-火焰光度法测定; 土壤有机质用重铬酸钾氧化-外加热法, 用  $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  硫酸亚铁滴定<sup>[16]</sup>。

**1.3.3 土壤微生物生物量碳测定方法** 氯仿熏蒸测定土壤微生物碳含量: 取适量鲜土, 氯仿熏蒸 24 h, 用  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  硫酸钾浸提<sup>[17-18]</sup>, 土水比为 1:4。取 5 mL 浸提液稀释至 50 mL, 取部分稀释液在总有机碳分析仪上测定。

**1.3.4 土壤酶活性测定方法** 蔗糖酶: 称 5 g 鲜土加入 15 mL 浓度 8% 的蔗糖溶液, 5 mL pH 5.5 磷酸缓冲液以及 5 滴甲苯, 放入  $37^\circ\text{C}$  恒温培养箱培养 24 h。24 h 之后取出, 迅速过滤。吸取 1 mL 滤液置于 50 mL 容量瓶, 注入 3 mL DNS 试剂, 在水浴锅中加热 5 min, 冷却 3 min。此时溶液呈橙黄色, 定容, 并在分光光度计上于 508 nm 处进行比色<sup>[19]</sup>。

碱性磷酸酶: 称 5 g 鲜土, 加 1 mL 甲苯, 轻摇 15 min 后, 加入 20 mL 0.5% 磷酸苯二钠、5 mL pH = 10 左右的硼酸缓冲液摇匀, 放入  $37^\circ\text{C}$  恒温箱培养 24 h。24 h 后用  $38^\circ\text{C}$  蒸馏水稀释三角瓶中混合物, 直到甲苯刚好浮于刻度线上。取至密滤纸过滤混合物。取 1 mL 滤液加入 100 mL 容量瓶, 再加入 5 mL, pH=9 左右的硼酸盐缓冲液, 3 mL 2.5% 的铁氰化钾、3 mL 0.5% 的 4-氨基安替吡啉溶液, 充分振荡直至溶液均匀呈粉红色, 加水定容。溶液颜色稳定 20~30 min 内, 调整波长为 570 nm 进行测定。

脲酶: 称取 5 g 新鲜土样置于 50 mL 锥形瓶中, 加 1 mL 甲苯, 振荡 15 min 后加入 10 mL 浓度为 10% 尿素溶液和 20 mL pH 6.7 柠檬酸盐缓冲溶液, 摇匀后在  $37^\circ\text{C}$  恒温箱培养 24 h。待 24 h 培养结束后过滤, 过滤后取 1 mL 滤液加入 50 mL 容量瓶中, 再加入 4 mL 苯酚钠溶液和 3 mL 次氯酸钠溶液, 随即摇匀。20 min 后显色定容。1 h 内在分光光度计与 578 nm 波长处比色<sup>[19]</sup>。

过氧化氢酶: 分别取 2 g 风干土样于 150 mL 锥形瓶中, 加入 40 mL 蒸馏水和 5 mL 浓度为 0.3% 的过氧化氢, 立即密封。震荡 20 min。另设对照组 (往瓶中注入 40 mL 蒸馏水和 5 mL 浓度为 0.3% 过氧化

氢, 但不加土样)。随后, 注入 1 mL 的饱和铝钾矾。立即过滤于盛有 5 mL 浓度为  $1.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的硫酸溶液的三角瓶中。将瓶中使用致密滤纸过滤。吸取 25 mL 滤液; 用  $0.02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  高锰酸钾溶液滴定至紫红色<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据处理分析

数据由 Microsoft Excel 2010 进行初步整理归纳, SPSS 24.0 进行方差分析、相关性分析, Origin Pro 9.0 进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 沿海滩涂地区土壤全盐含量及分布

在研究区大丰港沿海滩涂区, 随距入海口距离增加, 土壤全盐量逐渐降低, 显示淤长型沿海滩涂土壤发育过程普遍规律。土壤全盐含量与入海口距离拟合方程:  $y=(75.75659\pm 14.94981)x^{-0.40317\pm 0.0332}$ ,  $R^2=0.80678$ 。前 2 km 无植被生长, 土壤盐分含量变化较大, 以重度盐渍化土壤为主; 2~4 km 处, 仅碱蓬 (*Suaeda salsa*)、盐蒿 (*Artemisia halodendron*)、灰绿灰藜 (*Chenopodium glaucum* Linn.)、零星分布, 土壤含盐量有所降低, 盐分分布不均, 以中度盐渍化土壤为主; 4~10 km 处生长大片芦苇 (*Phragmites australis*)、茵陈蒿 (*Artemisia halodendron*)、马齿苋 (*Portulaca oleracea* Linn.) 和大豆<sup>[20]</sup> (*Glycine max* Linn), 属于轻度盐渍化土壤和非盐土。

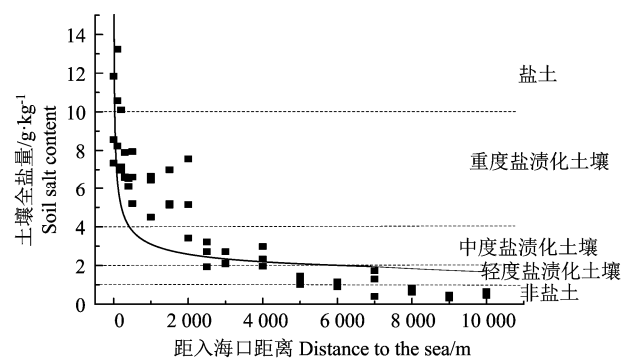


图 2 土壤全盐含量与入海口距离的关系

Figure 2 Soil salt content at each sampling point

据我国不同地区盐渍化程度分级标准<sup>[21]</sup>, 划分为 5 种盐渍化类型, 每个类型分别选取 3 个样点, 表征不同程度盐渍化土壤, 如表 1。

### 2.2 不同盐渍化程度下土壤有机质及养分变化情况

土壤有机质是表征土壤质量的代表性指标<sup>[22]</sup>, 提高有机质含量对盐碱地土壤治理上具有指示意义<sup>[22]</sup>。从表 2 可以看出, 随着土壤盐渍化程度的减弱, 土壤有机质含量降低, 盐土有机质含量高于其他盐渍化程度下土壤有机质含量, 呈显著性差异

( $P < 0.05$ )。研究区土壤有机质含量在  $4.73 \sim 13.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，在土壤养分分级标准中属于第五、六级<sup>[23]</sup>，为极缺等级。随距入海口距离的增加，土壤盐渍化程度减弱，可适应生长的植被增多，土壤有机质含量成上升趋势：轻度盐渍化土壤  $>$  重度盐渍化土壤  $>$  中度盐渍化土壤，但无显著差异。

全氮是衡量土壤氮素供应状况的指标。不同盐渍化土壤全氮含量较低，仅盐土中全氮含量达第五级，为  $0.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，与其他各盐渍化土壤差异显著 ( $P < 0.05$ )。重度盐渍化土壤中全氮含量最低，仅  $0.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。盐渍化程度降低，土壤全磷含量升高但

不显著。研究区土壤全磷含量在  $1.09 \sim 1.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，变化幅度较小，储量丰富，达到一级<sup>[23]</sup>养分标准。有效磷含量受土壤盐渍化程度影响较大，中度盐渍化土壤中有效磷含量最低，盐土中有效磷含量最高，两者呈显著性差异 ( $P < 0.05$ )。当土壤全盐量小于  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  时，随着全盐量的减少，土壤有效磷含量升高。土壤全钾随盐渍化程度变化不明显，含量在  $8.4 \sim 9.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，含量丰富。土壤速效钾受土壤盐渍化影响较大，盐渍化程度降低，土壤速效钾含量下降趋势明显 (表 2)。不同盐渍化土壤中速效钾含量差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 1 各样点土壤盐渍化程度  
Table 1 Soil salinization degree of each sample

土壤盐渍化程度 Degree of soil salinization	土壤全盐量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Soil salt content	
	分级标准 Grading standards	土壤全盐量 Soil salinity
盐土 Saline	$>10$	$11.89 \pm 1.09$
重度盐渍化土壤 Severe salinized soil	$4 \sim 10$	$6.57 \pm 1.03$
中度盐渍化土壤 Moderately salinized soil	$2 \sim 4$	$2.47 \pm 0.53$
轻度盐渍化土壤 Lightly salinized soil	$1 \sim 2$	$1.49 \pm 0.18$
非盐土 Non-salt soil	$<1$	$0.56 \pm 0.08$

表 2 不同盐渍化程度对土壤养分的影响  
Table 2 Effects of different salinization degrees on soil nutrient

土壤盐渍化程度 Degree of soil salinization	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Organic matter	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Total N	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Total P	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Total K	有效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available P	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available K
盐土 Saline	$12.10 \pm 1.31^a$	$0.53 \pm 0.01^a$	$1.09 \pm 0.33^a$	$9.20 \pm 0.65^a$	$10.41 \pm 1.68^a$	$455.44 \pm 34.52^a$
重度盐渍化土壤 Severe salinized soil	$6.65 \pm 0.64^b$	$0.15 \pm 0.01^d$	$1.21 \pm 0.36^a$	$8.07 \pm 0.25^b$	$5.81 \pm 1.05^b$	$255.44 \pm 13.34^b$
中度盐渍化土壤 Moderately salinized soil	$6.58 \pm 1.43^b$	$0.22 \pm 0.01^c$	$1.34 \pm 0.08^a$	$9.08 \pm 0.08^a$	$5.65 \pm 0.54^b$	$137.41 \pm 6.68^d$
轻度盐渍化土壤 Lightly salinized soil	$7.51 \pm 0.64^b$	$0.30 \pm 0.01^b$	$1.35 \pm 0.36^a$	$9.23 \pm 0.25^a$	$6.74 \pm 1.05^b$	$184.35 \pm 11.70^c$
非盐土 Non-salt soil	$5.64 \pm 0.18^b$	$0.19 \pm 0.02^{cd}$	$1.51 \pm 0.07^a$	$8.60 \pm 0.16^{ab}$	$7.67 \pm 0.28^b$	$91.84 \pm 5.83^e$

注:同列不同字母表示不同盐渍化程度之间差异显著( $P < 0.05$ )，正负号(±)后数值表示标准误。下同

Note: Significant differences among degrees of salinization are denoted by different letters in the same column ( $P < 0.05$ ), standard errors are denoted by data behind '±'. The same below

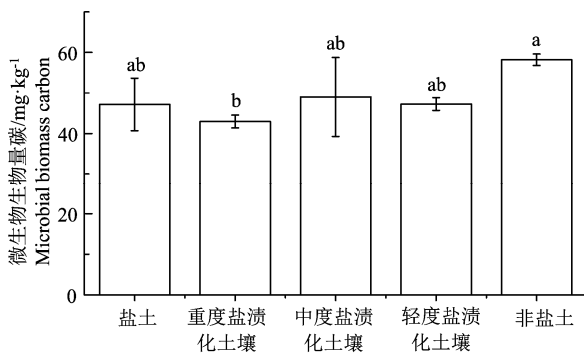


图 3 不同盐渍化程度对微生物生物量碳的影响

Figure 3 Effects of different degrees of salinization on microbial biomass carbon

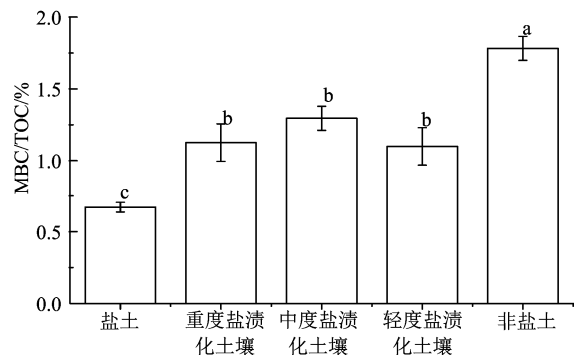


图 4 不同盐渍化程度对微生物熵的影响

Figure 4 Effects of different degrees of salinization on microbial entropy

### 2.3 不同盐渍化程度下土壤微生物生物量的变化关系

土壤的微生物生物量指不包括活的植物体(如植物根系等)在内,土壤中的体积小于  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  的生物总量<sup>[24]</sup>,是土壤中最活跃的因子。土壤微生物生物量碳是表征微生物生物量的一个重要指标,对土壤养分矿化和固定起到一定作用,并能有效的反应土壤养分的有效性和土壤生物的活性<sup>[25]</sup>。本研究中土壤盐渍化程度与微生物生物量碳相关性不大(图3),非盐土微生物生物量碳含量最高,与中度盐渍化土壤呈显著差异( $P < 0.05$ ),微生物熵即用每克土壤有机质微生物生物量碳的多少。由图4可知,受土壤盐渍化程度影响,微生物熵变化趋势明显,盐渍化程度越高,微生物熵越低。盐土、非盐土和其他盐渍化土壤呈显著性差异。但土壤全盐量

在  $1 \sim 4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,微生物熵在盐分作用下无显著性差异。

### 2.4 不同盐渍化程度下土壤酶活性的变化关系

盐渍化程度越高,蔗糖酶含量降低(表3)。盐土与重度盐渍化土壤中蔗糖酶含量无显著性差异( $P < 0.05$ ),盐土中蔗糖酶含量略小于重度盐渍化土壤。重度、中度、轻度盐渍化土壤与非盐土土壤蔗糖酶含量两两均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。碱性磷酸酶含量随盐渍化程度的降低,先下降后上升,中度盐渍化土壤中碱性磷酸酶含量最低。盐渍化程度越低,土壤脲酶含量呈上升趋势,盐土中脲酶含量与其他盐渍化程度土壤呈显著差异( $P < 0.05$ )。盐土中过氧化氢酶含量最低,且远低于重度盐渍化土壤,非盐土中含量最高。

表 3 不同盐渍化程度对土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of different salinization degrees on soil enzyme activity

土壤盐渍化程度 Degree of soil salinization	蔗糖酶/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ Sucrase	碱性磷酸酶/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ Alkaline phosphatase	脲酶/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ Sucrase	过氧化氢酶/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ Catalase
盐土 saline	182.12±5.63 <sup>d</sup>	118.76±16.26 <sup>b</sup>	8.10±7.52 <sup>c</sup>	60.69±33.14 <sup>c</sup>
重度盐渍化土壤 Severe salinized soil	210.40±34.76 <sup>d</sup>	87.88±2.98 <sup>c</sup>	41.92±2.22 <sup>b</sup>	116.38±5.00 <sup>b</sup>
中度盐渍化土壤 Moderately salinized soil	436.58±58.17 <sup>c</sup>	76.95±2.73 <sup>c</sup>	40.81±2.47 <sup>b</sup>	132.95±8.17 <sup>ab</sup>
轻度盐渍化土壤 Lightly salinized soil	678.09±34.76 <sup>b</sup>	132.73±2.98 <sup>b</sup>	40.11±2.22 <sup>b</sup>	129.38±5.00 <sup>b</sup>
非盐土 Non-salt soil	929.20±58.19 <sup>a</sup>	192.83±6.78 <sup>a</sup>	52.26±2.81 <sup>a</sup>	149.98±6.35 <sup>a</sup>

表 4 不同盐渍化程度土壤酶活性与土壤养分相关性分析

Table 4 Correlation analysis between soil enzyme activity and soil nutrient in different salinization degrees

相关性系数 Correlative coefficient	蔗糖酶 Sucrase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	脲酶 Sucrase	过氧化氢酶 Catalase
有机质 Organic matter	-0.524 <sup>*</sup>	-0.131	-0.918 <sup>**</sup>	-0.889 <sup>**</sup>
全氮 Total N	-0.375	-0.003	-0.885 <sup>**</sup>	-0.839 <sup>**</sup>
全磷 Total P	0.524 <sup>*</sup>	0.314	0.306	0.423
全钾 Total K	0.067	0.088	-0.459	-0.303
有效磷 Available P	-0.142	0.362	-0.569 <sup>*</sup>	-0.618 <sup>*</sup>
速效钾 Available K	-0.764 <sup>**</sup>	-0.285	-0.933 <sup>**</sup>	-0.970 <sup>**</sup>

注: \*为在 0.05 水平上显著 ( $P < 0.05$ ); \*\*为在 0.01 水平上显著 ( $P < 0.01$ )

Note: \* indicates reaching significant difference at 0.05 level, \*\* indicates reaching highly significant difference at 0.01 level

### 2.5 不同盐渍化程度下土壤酶活性与土壤养分相关性分析

土壤供应作物养分的能力,不仅取决于潜在养分的有效化过程,同时取决于土壤胶体吸收离子的有效程度,这两方面作用都和土壤酶活性有关。比较分析土壤磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶与相应的植物有效养分的关系,有助于了解土壤碳、

氮、磷的生物转化进程和动向以及土壤潜在肥力的有效化程度<sup>[19]</sup>。土壤蔗糖酶含量与速效钾呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),与有机质呈显著负相关( $P < 0.05$ )。土壤脲酶含量与有机质、全氮、速效钾呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。过氧化氢酶含量与有机质含量呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 土壤有机质及养分对盐分的响应

土壤有机质的含量主要取决于有机物质的输入和输出<sup>[26]</sup>,输入源主要包括土壤中有机物的矿化和动植物残体的分解,输出主要包括消耗分解和侵蚀流失<sup>[26]</sup>。潮间带水体是盐沼土壤有机质的重要来源<sup>[27]</sup>,潮流和潮水的周期性变化,入海口处土壤有机质含量较高,随距入海口距离增加,潮间带水体对土壤影响降低,有机质含量降低。距入海口距离2 km内,距入海口的距离增加,盐渍化程度降低,土壤有机质含量减小。大丰沿海滩涂地区为淤泥质新成滨海盐土,盐渍化程度降低,植被生长类型增多,土壤结构得到改善,有机质含量增高。王进欣等<sup>[27]</sup>的实验中生长芦苇的滨海土壤有机质含量低于其他植被类型土壤,本实验中以芦苇为表层植被的非盐土中有机质含量低于其他盐渍化土壤。

土壤中养分含量与成土母质和成土时间有一定的关系。河流入海口不断生长,形成的大面积淤积成陆的滨海冲积平原,钾素含量丰富;磷素容易被固定,不易淋洗,致使土壤中磷含量较为丰富。滨海平原,成土时间较短,熟化程度低,土壤全氮、速效钾、有效磷含量低。

#### 3.2 土壤微生物量对盐分的响应

本实验中,微生物生物量碳含量受盐分影响变化不明显,与王国栋等<sup>[28]</sup>、路海玲等<sup>[25]</sup>研究结果相悖。Rath等<sup>[14]</sup>认为,微生物熵消除有机质对土壤微生物的影响,更能体现土壤微生物量的变化。在盐分的影响下,土壤微生物生物量含量较低<sup>[29-30]</sup>。Sardinha等<sup>[31]</sup>发现沿着天然盐度梯度,微生物生物量从约5.7%至1.6%的降低。Chowdhury等<sup>[32]</sup>发现中等盐度的微生物生物量最高。Wong等<sup>[33]</sup>对非盐土进行加盐处理,培养84 d后盐土中微生物生物量从5%土壤显著增加到11%。本研究中,受盐分影响,微生物生物量变化明显。随盐渍化程度的降低,微生物生物量有一个明显的增长趋势,但在一定范围内,微生物生物量对盐分反应不明显。全盐量升高,土壤微生物量减少,盐胁迫使微生物代谢功能发生改变<sup>[34]</sup>,糖类、氨基酸、甜菜碱等可溶性物质的积累使微生物在体内渗透势增高,以适应高盐环境。

#### 3.3 土壤酶活性对盐分的响应

蔗糖酶广泛存在于土壤中,参与土壤中碳水化合物的转化,为植物和微生物提供可利用的营养物质,它是土壤生物学活性的重要表征<sup>[35]</sup>。盐渍化程

度越高,可被分解的活性物质越少,土壤蔗糖酶活性降低。盐渍土以碱性磷酸酶为主。碱性磷酸酶活性与土壤微生物呼吸量和总生物量显著相关<sup>[36]</sup>。脲酶将有机物水解生成氨和二氧化碳,为植物提供养分。土壤渍水时产生一些抑制脲酶的物质<sup>[37]</sup>,使得渍水土壤中脲酶活性较弱<sup>[19]</sup>。过氧化氢酶活性表征土壤腐质化强度大小和有机质积累程度<sup>[35]</sup>。盐渍化程度加深,蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶含量降低,与土壤养分含量均呈负相关,与李凤霞等<sup>[15]</sup>结论相同。

本研究以苏北滨海地区为背景,对不同盐渍化土壤进行调查。盐土受海水影响较为严重,有机质、全氮、速效磷、速效钾含量较高。比较重度、中度、轻度盐渍化土壤,盐渍化程度降低,土壤养分含量升高。全磷、全钾、有效磷在不同盐分梯度下,无显著性差异( $P < 0.05$ )。盐渍化程度降低,微生物生物量碳含量变化不明显,微生物熵呈上升趋势,相较于微生物生物量碳而言,微生物熵更能反应微生物量的情况。全盐量降低,脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性显著增加( $P < 0.05$ );碱性磷酸酶活性在中度盐渍化土壤中得到最低,为 $76.95 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot 24 \text{ h})^{-1}$ 。盐渍化程度降低,微生物生物量碳含量变化不明显,微生物熵呈上升趋势,相较于微生物生物量碳而言,微生物熵更能反应微生物量的情况,为进一步改良盐渍化土壤提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 王旭. 盐生植物生长发育与土壤盐分的关系及其对盐渍土的改良研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [2] 中国农业百科全书总编辑委员会土壤卷编辑委员会, 中国农业百科全书编辑部编. 中国农业百科全书·土壤卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 385-400.
- [3] 李二焕, 沈俊, 鞠靖, 等. 苏北滨海盐土区河流入海口土壤盐分及养分分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(1): 79-88.
- [4] 冷福田, 赵守仁. 江苏省沿海地区盐渍土发生过程及盐渍特性的转化[J]. 土壤学报, 1957(3): 195-205.
- [5] 杨秀娟, 胡玉昆, 房飞, 等. 不同类型盐碱土有机碳及微生物生物量碳的垂直分布特征[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1208-1214.
- [6] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 1-6.
- [7] 唐于银, 乔海龙. 我国盐渍土资源及其综合利用研究进展[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(8): 19-22.
- [8] 迟春明, 王志春. 苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质相互关系[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2245-2249.
- [9] 李松阳, 王晓丽, 王彦龙, 等. 柴达木盆地盐碱地土壤离子特征及养分分析[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2017,

- 47(6): 36-40.
- [10] 王娜娜. 黄河三角洲滨海盐渍土养分和盐分空间变异[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [11] 周红娟, 耿玉清, 丛日春, 等. 鸡粪与木醋液配施对滨海盐碱土化学性质和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 57-162.
- [12] QU W D, LI J Y, HAN G X, et al. Effect of salinity on the decomposition of soil organic carbon in a tidal wetland[J]. *J Soils Sediments*, 2019, 19(2): 609-617.
- [13] 王飞, 褚贵新, 杨明凤, 等. 北疆绿洲不同盐分浓度梯度下土壤的生物活性及其功能多样性[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 621-626.
- [14] RATH K M, ROUSK J. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: A review[J]. *Soil Biol Biochem*, 2015, 81: 108-123.
- [15] 李凤霞, 王学琴, 郭永忠, 等. 银川平原不同类型盐渍化土壤酶活性及其与土壤养分间相关分析研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 121-126.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [17] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [18] 何振立. 土壤微生物量的测定方法: 现状和展望[J]. 土壤学进展, 1994, 22(4): 36-44.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [20] 顾海蓉, 李媛, 沈根祥, 等. 沿海地区 5 种常见植物对土壤盐渍化程度的指示作用研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1590-1596.
- [21] 白由路, 李保国. 黄淮海平原土壤盐渍化状况的数值分类[J]. 土壤通报, 2001, 32(S1): 8-13.
- [22] 王娜娜, 齐伟, 王丹, 等. 基于样带的滨海盐碱地土壤养分和盐分的空间变异[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1527-1532.
- [23] 全国土壤普查办公室. 第二次全国土壤普查暂行技术规程[M]. 北京: 中国农业出版社, 1979.
- [24] 李玮. 贡嘎山东坡典型森林及冰川迹地土壤微生物量碳氮研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [25] 路海玲, 孟亚利, 周玲玲, 等. 盐胁迫对棉田土壤微生物量和土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 197-201.
- [26] 张晶, 濮励杰, 朱明, 等. 如东县不同年限滩涂围垦区土壤 pH 与养分相关性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2): 225-230.
- [27] 王进欣, 张威, 郭楠, 等. 影响海岸带盐沼土壤有机质、TN 和 TP 含量时空变化的关键因子: 潮水和植被[J]. 地理科学, 2016, 36(2): 90-98.
- [28] 王国栋, 褚贵新, 刘瑜, 等. 干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响[J]. 农业工程学报, 2009, 11(25): 44-48.
- [29] RIETZ D N, HAYNES R J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity[J]. *Soil Biol Biochem*, 2003, 35(6): 845-854.
- [30] PANKHURST C E, YU S, HAWKE B G, et al. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia[J]. *Biol Fertil Soils*, 2001, 33(3): 204-217.
- [31] SARDINHA M, MÜLLER T, SCHMEISKY H, et al. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions[J]. *Appl Soil Ecol*, 2003, 23(3): 237-244.
- [32] CHOWDHURY N, MARSCHNER P, BURNS R G. Soil microbial activity and community composition: Impact of changes in matric and osmotic potential[J]. *Soil Biol Biochem*, 2011, 43(6): 1229-1236.
- [33] WONG V N L, DALAL R C, GREENE R S B. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil[J]. *Biol Fertil Soils*, 2008, 44(7): 943-953.
- [34] 屈明华, 俞元春, 李生, 等. 丛枝菌根真菌对矿质养分活化作用研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 394-405.
- [35] 万忠梅, 宋长春. 三江平原不同类型湿地土壤酶活性及其与营养环境的关系[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 158-161.
- [36] 周俊国, 杨鹏鸣. 不同肥料对土壤脲酶和碱性磷酸酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 577-579.
- [37] 林杰, 张阳, 朱艳芳, 等. 淮北土石山区不同土地利用方式对土壤团聚体组成的影响[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(4): 133-142.