

# 江苏洋口港台田土壤盐分动态变化特征研究<sup>①</sup>

熊亮, 殷云龙\*, 莫海波, 於朝广, 华建峰

(江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 南京 210014)

**摘要:** 于2006年6月至2007年5月在江苏洋口港围垦区裸露台田上分层采集土样, 对土壤盐分动态变化特征及其影响因素进行了研究。结果表明: 该试验地0~50 cm土壤pH在8.0以上。土壤盐分随着土层的加深而逐渐增加, 0~50 cm各土层的年平均盐分分别为2.30、2.84、4.76、6.19、8.60 g/kg。此外, 土壤盐分随着取样时间的延长而逐渐降低。土壤盐分的月动态变化表明, 试验地在1—6月属于积盐期, 而7—9月属于脱盐期。相关性分析表明, 土壤体积质量和机械组成是影响土壤盐分变化的主要因素。

**关键词:** 沿海滩涂; 土壤盐分; 动态变化; 土壤体积质量; 机械组成

**中图分类号:** S153.6; S156.4

江苏洋口港地处长江口北翼, 江苏省南通市如东县海域。洋口港临港工业区由距岸3~4 km范围以内的滩涂围垦而成, 面积约30 km<sup>2</sup>, 土壤为冲积盐土类, 是典型的淤泥质海岸带盐渍土。2009年6月10日国务院常务会议讨论并原则通过《江苏沿海地区发展规划》, 标志着江苏沿海开发上升为国家战略, 沿海开发区的环境与绿化建设越来越受到了人们的重视。成陆时间较早的洋口港化工园区, 于2004、2005年就进行了造林绿化, 但绿化效果很不理想, 而土壤盐渍化是洋口港港区绿化造林的主要限制因子<sup>[1-2]</sup>。

据报道<sup>[3]</sup>, 土壤盐分动态包括土壤中盐分状况及其分布情况的时空变化, 对土壤盐分动态规律及其主要影响因素的研究是有效防治土壤盐渍化的前提与基础。为此, 许多学者开展了相关研究。梁珍海等<sup>[4]</sup>对江苏省连云港海堤边坡土壤水盐动态变化规律进行了探讨, 认为海堤盐分运动存在脱盐月份(6—8月)和积盐月份(9月至次年5月), 并且研究了地下水对土壤盐分的作用。李宝富等<sup>[4]</sup>对不同耕作时间下土壤剖面盐分动态变化规律的研究发现随着耕作时间的延长, 土壤平均含盐量由表层高于底层逐步转化为表层低于底层, 且土壤含盐量与有机质含量的关系由极显著正相关转变为极显著负相关, 而与土壤pH的关系变化则

相反。赵秀芳等<sup>[5]</sup>研究表明, 苏北典型滩涂区土壤盐分呈表聚型, 10 cm处盐分含量最高, 且波动最为活跃, 夏季盐分呈下降趋势, 秋冬季盐分呈上升趋势。杜金龙等<sup>[6]</sup>对焉耆盆地土壤盐分剖面特征及其与土壤颗粒组成的关系研究认为在砂粒含量较高的盐渍化地带, 土壤盐分分布主要受砂粒含量的影响。为了更好地进行绿化造林工作, 洋口港在海堤内侧修建台田。台田是一种特殊耕作现象, 堆土成台在上耕作, 被广泛应用于盐碱地区。目前关于江苏沿海滩涂围垦区, 尤其是洋口港滩涂区土壤盐分动态规律及其主要影响因素的研究尚未见有报道<sup>[1]</sup>。

为了更好地促进洋口港生态环境的建设, 本文基于在洋口港裸露台田的试验, 通过监测土壤盐分动态变化特征, 及其与土壤体积质量、含水率、机械组成等理化性质的相关关系, 分析了洋口港滩涂区土壤盐分动态规律, 筛选出了影响土壤盐分的主要影响因素, 这对于制定科学合理的绿化技术措施具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于江苏省南通市如东县洋口港围垦区台田, 地理位置为121°30'E, 30°42'N, 属北亚热带季风

①基金项目: 江苏省交通厅项目(08Y28)和江苏洋口港投资开发有限公司合作项目资助。

\* 通讯作者(yinyi1066@sina.com)

作者简介: 熊亮(1982—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事植物资源与环境等方面工作。E-mail: jfhua2009@gmail.com

②胡海波, 马建刚, 王永昌. 海堤边坡立地条件及树种适宜性评价研究. 全国沿海防护林体系建设学术研讨会论文集, 2006

③梁珍海, 王磊, 李荣锦, 胡海波, 马建刚. 海堤边坡水盐动态规律研究. 全国沿海防护林体系建设学术研讨会论文集, 2006

气候, 四季分明, 年平均气温 16.0℃, 极端最高气温 38.5℃, 最低气温 -9.4℃, 平均年降水量 1 273 mm, 日照 2 038 h, 无霜期 244 天, 海拔高度 50 m。海涂上原植被主要是野生芦苇 (*Phragmites communis* Trin.)。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 样点设置** 本试验在洋口港 2003 年围垦区的台田区域设置 3 个土壤盐分观测点。该台田 (500 m × 35 m) 通过围垦吹田堆积而成, 紧靠新海堤内侧, 主要用于植被栽种试验。台田地下水位接近 1 m, 0~50 cm 的表层土壤以砂粒为主, 水分含量低, 极易造成扬沙, 50 cm 以下的深层土壤为泥浆土, 较为黏重。台田上基本没有自然植被成片分布, 只存在少量苔藓 (Bryophytes)、蒿类 (*Artemisia* Linn.)、芦苇 (*Phragmites communis* Trin.) 等。3 个观测样点均设置在裸露土地上, 无任何植被覆盖, 彼此相距 60 m, 呈直线分布。

**1.2.2 土样采集** 2006 年 6 月至 2007 年 5 月, 每月中旬 (根据天气情况, 尽量避免雨天, 一般选在 15 日或 16 日) 对 3 个观测点进行土壤样品采集, 共有 5 个土层, 分别为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50 cm。每个观测点采取多点取样的方法, 然后混匀, 放置于室内通风阴干, 过筛备用。

**1.2.3 土壤物理化学性质测定** 采用环刀法测定土壤体积质量; 激光粒度仪法测定土壤机械组成, 粒级分类 (石砾为 >0.5 mm; 砂粒为 0.5~0.05 mm; 粉粒为 0.05~0.002 mm; 黏粒为 <0.002 mm) 参照农业部土壤保持局制定的土壤分类标准; 烘干称重法测定土壤含水量; pH 计测定土壤 pH (1:5 土水比)。土壤含盐量采用质量-电导率法测定 (1:5 土水比)<sup>[1]</sup>, 采用海土浸出液配置出不同浓度海水, 然后采用 DDS-11J 型电导率仪测定电导率 (EC), 建立土壤含盐量和土壤浸出液电导率的回归方程:

$$y = 3.27783x - 0.16932 (R^2 = 0.995, P < 0.01, n = 31)$$

式中,  $y$  代表土壤含盐量 (g/kg),  $x$  表示土壤浸出液电导率 (dS/m<sup>2</sup>)。可运用该回归方程对洋口港围垦区土壤盐分进行准确的测定。

## 1.3 数据分析

试验数据均为 3 次重复的平均值, 采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件对数据进行统计和方差分析 (Duncan)。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验地土壤盐分的动态变化特征

在沿海地区, 土壤盐渍化成了制约土地生产力的关键因子。该地区生产力的提高、生态环境的改善都必须首先克服土壤盐分带来的威胁。因此, 研究土壤盐分的动态变化特征, 掌握其变动规律, 可为农业生产、绿化造林等方面提供科学依据<sup>[7-9]</sup>。

试验地土壤盐分的动态变化特征结果见图 1。从土壤盐分的垂直变化看, 3 个观测点的土壤盐分均是表层土的含盐量最低, 随着土层的加深土壤盐分含量随之增加。0~50 cm 各土层的年平均盐分分别为 2.30、2.84、4.76、6.19、8.60 g/kg, 其中, 0~10 cm 与 10~20 cm 土层的年平均盐分要显著低于 40~50 cm 土层 ( $P < 0.05$ )。这可能是由于表层土壤受到雨水冲刷后, 盐分随水分转移到土壤下层的原因。根据我国盐碱土分类标准, 土壤盐分 4~6 g/kg 的土壤称为重盐土, 2~4 g/kg 的土壤为中盐土, 土壤盐分 2 g/kg 以下的为轻盐土。从本试验的全年平均盐分看出, 0~20 cm 土层属于轻盐土, 20~30 cm 土层属于中盐土, 30~50 cm 土层属于重盐土。在含盐量 2.0 g/kg 以内的土壤上, 一般耐盐树种国槐、榆、桑、石榴、银杏、杨树等都能生长。

盐分月动态变化可以直观反映出土壤盐分变化趋势, 反映土壤处于脱盐或积盐过程。从图 1 可以看出, 0~10 cm 与 10~20 cm 土层的盐分于 2006 年 6 月达最高, 分别为 4.22 和 4.76 g/kg, 于 2007 年 1 月降至最低, 分别为 1.43 和 2.01 g/kg; 20~30 cm 及 30~40 cm 土层盐分于 2006 年 7 月达最高, 分别为 8.06 和 10.49 g/kg, 于 2007 年 4 月为降至最低, 分别为 3.42 和 4.14 g/kg; 40~50 cm 土层盐分于 2006 年 7 月达最高 11.32 g/kg, 2007 年 1 月为最低 5.68 g/kg。由此, 我们认为该试验地在 1—6 月处于积盐期, 这可能是因为夏季初期气温上升, 而雨季尚未到来, 加上试验地为裸地, 无任何植物遮蔽, 地下水蒸发强烈所致; 7—9 月处于脱盐期, 这是由于雨季的到来, 大量降水淋洗所导致的。该试验结果与前人的研究结果<sup>[9-10]</sup>相符合。其次, 0~50 cm 各土层盐分的变异系数分别为 19.77%、28.76%、35.71%、39.79%、51.74%, 表明随着土壤深度的增加, 土壤盐分含量变化逐渐加强。总体来看, 土壤盐分呈现出随日期逐渐降低的趋势, 从 2006 年 6 月至 2007 年 5 月, 0~50 cm 各土层盐分的降低幅度分别为 29.62%、39.92%、42.29%、46.58% 和 27.29%, 其中, 0~40 cm 土层随着土壤深度的增加, 盐分下降的速度逐渐增加。可能与土层内水分、盐分的动态受到太阳辐射、降水及蒸发等多种因子的影响有关。而 40~50 cm 土层降

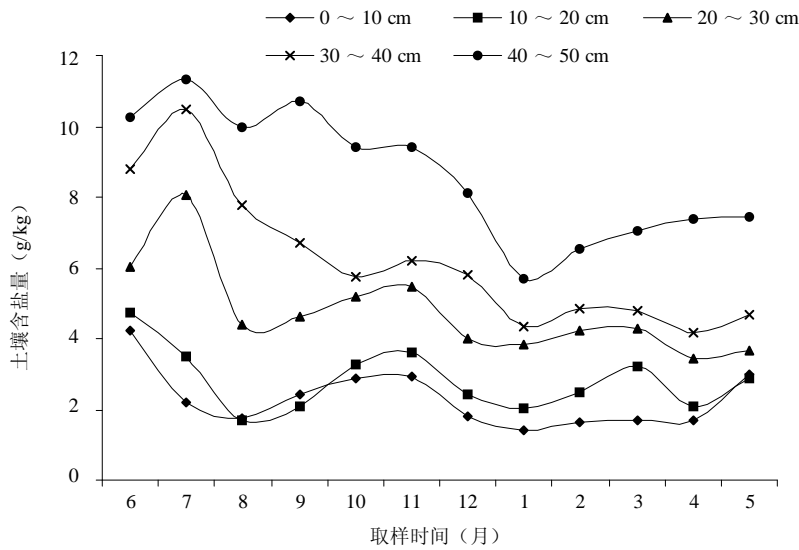


图 1 试验地各土层盐分的动态变化 (2006 年 6 月—2007 年 5 月)

Fig. 1 Dynamics of soil salt contents at different depths

幅最小，可能与地下水蒸发、土壤毛细管作用更为强烈有关。

### 2.2 试验地土壤 pH 的动态变化特征

试验地土壤 pH 的动态变化特征结果见图 2。从中

可以看出，2006 年 11 月至 2007 年 5 月的土壤 pH 随着土壤深度的增加而降低。0 ~ 50 cm 各土层的月平均 pH 分别为 8.32、8.26、8.19、8.09、8.05，各土层之间没有显著差异。

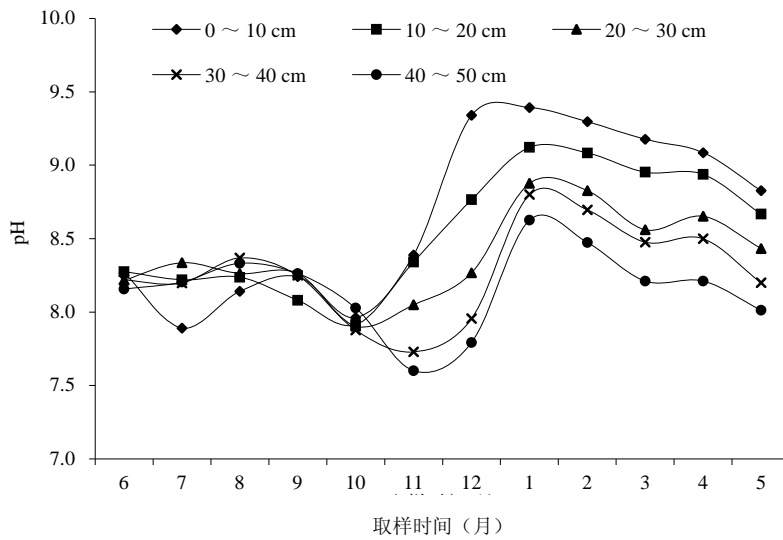


图 2 试验地各土层 pH 的动态变化 (2006 年 6 月—2007 年 5 月)

Fig. 2 Dynamics of soil pH values at different depths

在整个试验过程中，0 ~ 50 cm 各土层 pH 出现降低-升高-降低的变化过程 (图 2)。各土层 pH 最高峰均出现在 2007 年 1 月，而最低点则各不相同。0 ~ 10 cm 土层的 pH 于 2006 年 7 月达最低点，10 ~ 20 cm 及 20 ~

30 cm 土层 pH 最低点在 2006 年 10 月，而 30 ~ 40 cm 和 40 ~ 50 cm 的最低点是在 2006 年 11 月。

### 2.3 试验地土壤的理化性质

在自然条件下研究土壤盐分动态，必然受到外界

环境各种因素影响,因此在研究土壤盐分动态时,必须考虑影响盐分变化的因素。一般考虑因素包括有:土壤体积质量、土壤机械组成、土壤含水率、土壤 pH、土壤离子组成等因素<sup>[4,6,11]</sup>。从本试验结果可见(表 1),观测点土壤体积质量范围为 1.18~1.48 g/cm<sup>3</sup>,随着土层深度的增加,土壤体积质量随之增大,且在 0~10 cm 土层要显著 ( $P<0.05$ ) 低于 30~40 cm 与 40~50 cm 土层,这可能是由于表层承压小、土壤有机质丰富等原因,使得土壤体积质量较小,而下层土壤则由于承压大、有机质少,因而土壤体积质量较大。观测点土

壤含水量变化范围为 179.7~254.1 g/kg,在 0~50 cm 土层内,土壤含水量随着土层深度增加而增加,且 0~10 cm 土层含水量显著低于 ( $P<0.05$ ) 30~50 cm 土层。

各土层中砂粒组成分别为 692.9、615.3、552.0、431.6 和 341.0 g/kg,其在 0~40 cm 土层中占绝对优势且呈逐层下降趋势。粉粒与黏粒的含量随着土壤深度的增加而逐渐增大,这可能与表层接纳沉积风沙较多有关,而底层土壤粉粒与黏粒含量较多,这可能与底层土壤所受的干扰少,机械组成变化不大,同时受地下水淹没、承压时间长等原因有关。

表 1 试验地各土层土壤的理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties at different depths

土层深度 (cm)	全年盐分平均含量 (g/kg)	平均体积质量 (g/cm <sup>3</sup> )	平均含水量 (g/kg)	平均土壤机械组成 (g/kg)			
				石砾	砂粒	粉粒	黏粒
0~10	2.30±2.06 a	1.18±0.04 a	179.7±12.4 a	132.0±17.2 a	692.9±14.3 a	165.4±14.8 a	9.7±2.7 a
10~20	2.84±1.95 a	1.27±0.06 ab	194.5±9.7 ab	125.3±20.8 a	615.3±48.4 a	228.9±84.0 a	30.6±15.2 a
20~30	4.76±2.95 ab	1.33±0.04 ab	222.4±30.3 ab	132.0±14.4 a	552.0±159.6 a	282.5±158.4 a	33.5±15.2 a
30~40	6.19±3.09 ab	1.40±0.05 bc	254.1±19.9 b	127.3±20.7 a	431.6±166.4 a	402.3±156.4 a	38.8±30.3 a
40~50	8.60±2.94 b	1.48±0.04 c	251.9±6.6 b	154.7±54.3 a	341.0±145.1 a	453.7±153.3 a	50.6±24.9 a

注:表中数据为 3 个观测点的平均值;同列中不同小写字母表示差异达到  $P<0.05$  显著水平。

#### 2.4 试验地土壤理化性质之间的相关性分析

土壤含盐量与土壤体积质量、含水量、pH 以及机械组成之间的相关性分析结果见表 2。由表 2 可知,试验地土壤年平均盐分含量与土壤体积质量间呈极显著正相关性 ( $p<0.01$ ),表明土壤体积质量对土壤盐分产生直接影响,包括影响降水淋溶、气体交换、热量传递。由于土壤体积质量在很大程度上决定了土壤

内部水气热情况,体积质量小的土层,土壤内部水气热情况良好,再加上降水对盐分的淋洗作用,因此土壤盐分含量较低,土壤脱盐效果明显;土壤体积质量大的土层,得不到充分的降水淋溶,不易发生脱盐,因此土壤体积质量大的土层盐分含量远高于体积质量小的土层。因此,笔者认为土壤体积质量的高低在一定程度上决定了土壤盐分含量水平高低。

表 2 土壤盐分与土壤体积质量、pH、含水量以及土壤机械组成之间的相关性分析

Table 2 Correlations of soil salt content and soil bulk density, pH, water content and soil mechanical composition

土壤性质	体积质量	含水量	pH	石砾	砂粒	粉粒	黏粒	土壤盐分
体积质量	1							
含水量	0.858	1						
pH	-0.994**	-0.895*	1					
石砾	-0.633	0.228	-0.610	1				
砂粒	-0.992**	-0.857	0.988**	-0.655	1			
粉粒	0.986**	0.888*	-0.986**	0.604	-0.997**	1		
黏粒	0.969**	0.792	-0.946*	0.558	-0.938*	0.925*	1	
土壤盐分	0.975**	0.806	-0.977**	0.754	-0.985**	0.974**	0.902*	1

注: \* 表示相关性达到了  $P<0.05$  显著水平; \*\* 表示相关性达到了  $P<0.01$  显著水平。

土壤盐分与砂粒比重呈极显著的负相关性 ( $P < 0.01$ ),  $R^2$  为 -0.985, 粉粒 ( $P < 0.01$ ) 和黏粒 ( $P < 0.05$ ) 均与土壤盐分呈极显著的正相关性,  $R^2$  分别为 0.974、0.902, 而石砾比重与土壤盐分呈负相关, 但并未达到显著水平。由此可见, 土壤中砂粒成分越高, 土壤盐分越低, 而粉粒与黏粒越高, 土壤盐分也越高。同样, 杜金龙等<sup>[6]</sup>认为在粒度较粗、砂粒含量较高、盐分含量也较高的盐渍化地带, 土壤盐分分布主要受砂粒组分的影响与控制。另外, 由表 2 还可以看出土壤体积质量与石砾和砂粒的含量呈显著或极显著负相关, 而与粉粒和黏粒的含量呈极显著正相关。以上结果表明, 土壤的机械组成与土壤的体积质量和土壤盐分含量都有着密切联系。当土壤中粉粒和黏粒含量较高而砂粒和石砾含量较少时, 土壤体积质量较大, 土质较黏重, 土壤盐分含量较高, 土壤脱盐也就越困难。

### 3 结论

(1) 试验地土壤盐分随着土层的加深而增加, 且呈现出随日期逐渐降低的趋势, 其中在 0~40 cm 土层随着土壤深度的增加, 土壤盐分下降的速度逐渐增加。土壤盐分动态特征表明试验地在 1—6 月属于积盐期, 而 7—9 月属于脱盐期。

(2) 试验地 0~50 cm 土壤 pH 在 8.0 以上。随着土层深度的增加, 土壤体积质量随之增大。在 0~40 cm 土壤中砂粒占绝对优势, 其次分别为粉粒、石砾与黏粒; 砂粒含量随土壤深度的增加有下降趋势, 而土壤含水量、粉粒与黏粒含量则刚好相反。

(3) 土壤盐分与土壤体积质量、粉粒含量、黏粒含量呈显著正相关, 而与土壤 pH、砂粒含量呈显著负相关。

(4) 从江苏洋口港裸露台田土壤盐分动态变化的结果来看: 0~50 cm 的土层中年平均盐分含量为 2.30~8.60 g/kg, 在这样的台田上种植绿化植物是十分困难的。建议采取深挖沟 (2 m 以上), 自然排水洗盐和种植绿肥植物, 添加土壤有机质等生物工程措施, 使土壤中盐分下降至 2.0 g/kg, 这样一般的耐盐植物就能正常生长。若土壤盐分下降至 4.0 g/kg 左右, 建议可

先试栽盐土先锋树种 (耐盐能力超过 4.0 g/kg): 合欢 (*Albizia julibrissin*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*)、海滨木槿 (*Hibiscus hamabo*) 等, 然后再不断充实各种较耐盐的植物, 如国槐、榆树、银杏、中山杉等, 为改变新围垦裸露盐碱地的绿化状况起到促进作用。

### 参考文献:

- [1] 何贵平, 陈益泰, 黄一青, 范林洁. 杭州湾海涂造林后土壤盐分和水动态变化. 林业科学研究, 2006, 19(2): 257-260
- [2] 李加林, 张忍顺, 王艳红, 曾昭鹏. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86-90
- [3] 沈永明, 冯年华, 周勤, 刘咏梅, 陈子玉. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响. 海洋科学, 2006, 30(10): 39-43
- [4] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 龙桃. 不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究. 土壤学报, 2010, 47(3): 429-438
- [5] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要素之间的关系. 农业工程学报, 2010, 26(3): 52-57
- [6] 杜金龙, 靳孟贵, 欧阳正平, 刘延锋. 焉耆盆地土壤盐分剖面特征及其与土壤颗粒组成的关系. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008, 33(1): 131-136
- [7] 刘广明, 杨劲松, 姜艳. 江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究. 土壤, 2005, 37(2): 163-168
- [8] 罗以筛, 隆小华, 黄增荣, 刘玲, 李青, 李洪燕, 孙磊, 刘兆普. 苏北沿海滩涂盐肥对油菜生长及离子分布效应研究. 土壤, 2009, 42(1): 95-100
- [9] 赵秀芳, 杨劲松, 蔡彦明, 姚荣江, 李冬顺, 韩建均. 苏北滩涂区施肥对菊芋生长和土壤氮素累积的影响. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 521-526
- [10] 赵耕毛, 刘兆普, 陈铭达, 邓力群. 不同降雨强度下滨海盐渍土水盐运动规律模拟实验研究. 南京农业大学学报, 2003, 26(2): 51-54
- [11] 古丽格娜·哈力木拉提, 阿布都沙拉木·加拉力丁, 海米提·依米提, 热比娅·吐尔逊, 胡小韦. 新疆于田绿洲盐渍化土壤盐分动态变化特征研究. 水土保持研究, 2008, 15(3): 100-104

## Dynamics of Soil Salt Content in Platform Fields in Yangkou Port of Jiangsu Province

XIONG Liang, YIN Yun-long, MO Hai-bo, YU Chao-guang, HUA Jian-feng

*(Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China)*

**Abstract:** The dynamics of soil salt content and its affecting factors in platform fields in Yangkou port of Jiangsu Province were investigated from June in 2006 to May in 2007. Results showed that soil pH of the tested plot was higher than 8.0 at 0–50 cm depth. The soil salt content increased with the soil depth, and the annual mean soil salt contents were 2.30, 2.84, 4.76, 6.19 and 8.60 g/kg at 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm depths respectively. Meanwhile, the soil salt content decreased with the time. The dynamics of monthly mean soil salt content indicated that soil salt content was increased from February to June, and reduced from July to September. According to the correlations of soil salt content and other soil physical and chemical properties, soil bulk density and soil mechanical composition play important roles in the dynamics of soil salt content in platform fields in Yangkou port of Jiangsu Province.

**Key words:** Coastal region, Soil salt content, Dynamics, Soil bulk density, Soil mechanical composition