

# 江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究

刘广明<sup>1</sup> 杨劲松<sup>1\*</sup> 姜艳<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 江苏天华大鹏会计师事务所 南京 210024)

**摘要** 本文通过大量采样分析及数值拟合等方法,研究获得江苏典型滩涂分布区的地下水以及土壤的盐分含量、盐离子组成特征及其分布规律;分别获得了地下水矿化度与地下水电导率、土壤全盐量与 1:5 土水比浸提液电导率之间的关系函数,应用这些关系函数将能够快速获得具有良好精度的相应要素的测定结果。本文研究成果将为江苏滩涂开发利用提供重要的理论及决策依据,并因而具有较为广泛的应用前景。

**关键词** 滩涂资源;地下水;土壤盐分;关系函数

中图分类号 S275

江苏滩涂面积约为 65.3 万  $\text{hm}^2$ , 约占全国滩涂的  $1/4$ <sup>[1,2]</sup>,江苏省每年净增滩涂面积约 1100  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。这是江苏省乃至全国经济建设非常宝贵的后备资源。沿海滩涂土壤资源利用的最主要限制因素是高土壤含盐量。地形、地面高程、土壤成因等条件的不同,导致土壤盐分含量及其空间分布有所差异。因此,在开发利用沿海滩涂土壤资源之前,对滩涂盐渍土壤资源进行调查研究对于合理与高效开发利用滩涂资源是非常必要的。地下水及土壤盐分的组成、含量等滩涂资源特征要素是针对滩涂资源研究的主要内容,也是对此类资源进行有序利用的重要决策依据要素<sup>[4]</sup>。本文重点针对江苏典型滩涂分布区的地下水及土壤的盐渍程度、盐分组成及其分布规律进行了较为系统的研究,将为江苏滩涂资源开发利用提供重要的理论及参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 江苏典型滩涂分布区自然概况

本研究中江苏典型滩涂分布区系新围垦沿海滩涂农场,于 1999 年全面结束围垦工作。该区位于江苏沿海区中部,地跨江苏东台与大丰两市,距大丰市约 45 km,距盐城市约 100 km。东西宽约 2.25 km,南北长约 7 km,地面高程一般在 3.5 m (黄海基面),低洼地段为 2.4~2.8 m。水路经东台河与苏北水网相沟通,水陆交通便利。位于淮河尾间,淡水水源主要是上游外来水,目前该区引水路线主要走东台

河线,淡水资源较为丰富,可以为引淡爽盐、改良土壤提供比较充足的淡水水源。区内微地势特征为南高北低,东高西低(比降均为 0.4 ‰)。地表面层沉积物的平均粒径为 0.031~0.015 mm,系灰黄色粉质砂壤土,层厚至高程 1.5 m,在高程 1.5 m 以下为灰色粉砂土。

江苏典型滩涂分布区地处北亚热带北缘,具有明显的海洋性季风气候。气候温暖湿润,日照充足,雨量充沛,四季分明。年平均气温 14.6℃,全年无霜期 213 d,常年降雨量 1042.3 mm,年平均蒸发量 1417.4 mm,年平均相对湿度 81%,年平均风速 3.3 m/s。土壤为冲积盐土类,潮盐土亚类,为中度盐渍化土。土壤沉积母质为近代泥沙沉积物。全剖面土质均匀,以粉砂占优势。土壤体积质量(容重)在 1.4~1.5  $\text{g}/\text{cm}^3$  之间,孔隙度 40%~50%,地表 1m 深土壤含盐量 3~4.5  $\text{g}/\text{kg}$ ,有机质含量 4.0~8.0  $\text{g}/\text{kg}$ ,全 N 含量 240~480  $\text{mg}/\text{kg}$ ,速效 P 3~5  $\text{mg}/\text{kg}$ ,速效 K 160~300  $\text{mg}/\text{kg}$ ,pH 值 8.4 左右。

刚围垦时植被较好,植被种类以茅草、獐茅草、芦苇、大米草为主,植被覆盖率达 91%。西部长有茅草,东部长有茅草、獐茅草等植物,原有老港叉长有盐蒿。茅草地土壤盐分为 2~3  $\text{g}/\text{kg}$ ,獐茅草地为 5~8  $\text{g}/\text{kg}$ ,盐蒿地为 6~10  $\text{g}/\text{kg}$ ,老港叉光板地为 10  $\text{g}/\text{kg}$  以上。茅草和獐茅草地有一定的有机质积累,基本具备开垦条件。

截至 2002 年初,该典型滩涂分布区现有农业可

国家自然科学基金项目(40371058)和国家“863”项目(2002AA2Z4061)资助。

\*通讯作者(jsyang@issas.ac.cn)

利用面积约 1666.7 hm<sup>2</sup>, 其中种植面积约 466.7 hm<sup>2</sup>, 现有水产养殖面积 333.3 hm<sup>2</sup>, 其余为暂时无法或难以利用面积如盐分过重区域及低等级道路、渠系用地等。沿海堤一线, 全为重盐土。即使已初步改良区域在春季返盐现象仍然非常严重。

## 1.2 分析方法

本研究所用地下水及土壤样品采自江苏省典型滩涂分布区。采集的土样带回实验室自然风干, 磨碎、过 20 目筛。1:5 土水比土壤浸提液的制备方法: 准确称取 10.0 g 的土壤置于离心管中, 加入 50 ml 去 CO<sub>2</sub> 蒸馏水, 将离心管置于振荡器上振荡 10 min 后, 再离心 10 min, 转速 4500 ~ 5000 r/min, 离心后的上清液倒入烧杯中, 并立即测量其电导率

EC<sub>1:5</sub>、pH 值和盐离子组成。土壤离子组成测定方法: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 用双指示剂滴定法; Cl<sup>-</sup> 用 AgNO<sub>3</sub> 滴定法; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 用 EDTA 间接滴定法; Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 用 EDTA 络合滴定法; K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 用火焰光度法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 江苏典型滩涂分布区地下水及土壤盐分特征

为了充分保障采样的典型性和代表性, 在采样时选取的植被类型包括了全区所有类型, 土壤盐渍类型纵括轻、中、重盐土 3 种类型。通过对所采集当地地下水样品的分析, 获得了当地地下水条件的基本情况, 如表 1 所示。

表 1 江苏典型滩涂区地下水基本性质

Table 1 Basic properties of groundwater in a typical intertidal zone of Jiangsu province

| 编号 | 植被类型  | 地下水埋深 (cm) | 电导率 (mS/cm) | pH   | 矿化度 (g/L) | 离子浓度 (g/L)                    |                               |                 |                               |       |                  |                  |                |                 |       |
|----|-------|------------|-------------|------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------|
|    |       |            |             |      |           | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 阴离子总量 | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | 阳离子总量 |
| 1  | 水稻    | 150        | 21.70       | 8.15 | 13.60     | 0                             | 0.43                          | 5.25            | 0.95                          | 6.63  | 0.35             | 0.30             | 0.91           | 5.41            | 6.97  |
| 2  | 盐蒿    | 115        | 35.20       | 8.27 | 24.13     | 0                             | 0.25                          | 9.20            | 2.28                          | 11.73 | 0.26             | 0.68             | 1.56           | 9.90            | 12.40 |
| 3  | 水稻    | 140        | 7.07        | 8.06 | 4.16      | 0                             | 0.50                          | 1.35            | 0.32                          | 2.17  | 0.09             | 0.14             | 0.37           | 1.39            | 1.99  |
| 4  | 棉花+芦苇 | 150        | 17.92       | 8.32 | 11.15     | 0                             | 0.31                          | 4.39            | 0.87                          | 5.57  | 0.17             | 0.37             | 0.77           | 4.27            | 5.58  |
| 5  | 盐蒿+杂草 | 140        | 18.45       | 8.20 | 12.25     | 0                             | 0.62                          | 4.37            | 0.95                          | 5.94  | 0.12             | 0.35             | 0.62           | 5.22            | 6.31  |
| 6  | 盐蒿    | 130        | 52.70       | 8.10 | 30.75     | 0                             | 0.22                          | 11.92           | 2.25                          | 14.39 | 0.33             | 1.22             | 2.13           | 12.68           | 16.36 |
| 7  | 水稻    | 150        | 15.09       | 8.44 | 11.03     | 0                             | 0.31                          | 4.79            | 0.73                          | 5.83  | 0.20             | 0.36             | 0.95           | 3.69            | 5.20  |
| 8  | 水稻    | 120        | 6.42        | 8.22 | 3.83      | 0                             | 0.37                          | 1.31            | 0.22                          | 1.90  | 0.09             | 0.14             | 0.35           | 1.35            | 1.93  |
| 9  | 芦苇    | 130        | 12.10       | 8.14 | 8.86      | 0                             | 0.40                          | 2.76            | 1.00                          | 4.16  | 0.35             | 0.25             | 0.07           | 4.03            | 4.70  |
| 10 | 水稻    | 130        | 17.31       | 7.82 | 14.18     | 0                             | 0.45                          | 5.89            | 0.51                          | 6.85  | 0.33             | 0.45             | 2.71           | 3.84            | 7.33  |

2.2.1 地下水埋深及地下水矿化度 当地微地形起伏不大, 在 40 cm 波动范围内。通过地下水样品的采集得知当地地下水埋深大致在 115 ~ 150 cm 之间。地下水样品所处的典型剖面位置包括了水稻、盐蒿、棉花 + 芦苇、棉花 + 杂草、芦苇等植被类型。通过地下水埋深与植被类型的比较可以得知, 地下水埋深与植被类型之间存在明显的对应关系, 通常按照盐蒿 盐蒿 + 杂草 芦苇 棉花+芦苇 水稻的顺序地下水埋深逐渐增大, 这一顺序与各植被类型的耐盐程度是完全一致的。

地下水矿化度为 3.83 ~ 30.75 g/L, 相应的地下水电导率在 6.42 ~ 52.7 mS/cm, 矿化度大小分布范围比较广泛。各植被类型所对应的地下水矿化度并没有明显呈现出与上述植被类型的耐盐性能变化顺序一致的变化规律, 这表明地表盐分含量不仅与地

下水矿化度有关, 而且与当地地下水埋深密切相关, 即地表土壤盐分含量受到了地下水埋深与地下水矿化度的双层影响。本研究区中, 地下水矿化度的最小值对应的植被类型为水稻, 可见水稻的泡田、淋洗水分使得地下水的淡水得到了补充, 从而使地下水进一步淡化。这表明种稻洗盐效果明显; 在淡水资源许可的前提下, 在滩涂盐渍土地区应当优先选择种植水稻, 加速盐渍土改良进程。地下水矿化度最大值 30.75 g/L 对应的植被类型为盐蒿, 且盐蒿生长较为稀疏。推究其对应位置处于围垦以前的港叉部位, 可见地下水矿化度与当地土壤母质关系亦比较密切。

2.2.2 地下水化学性质及土壤盐分特征 从地下水样品的分析结果可以得知, 江苏典型滩涂分布区地下水的 pH 值在 7.82 ~ 8.44 之间, 呈弱碱性。

各地下水样品中  $\text{Cl}^-$  摩尔数占阴离子总数的 72 % ~ 90.2 % ,  $\text{Na}^+$  的摩尔数占阳离子总数的 70 % ~ 95.7 % , 可见该区地下水属典型的  $\text{Cl}-\text{Na}$  型水。地下水样品中各阴离子含量由高到低的顺序一般为  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  , 没有测定出  $\text{CO}_3^{2-}$  ; 但是在矿化度低于 8.0 g/L 的地下水中  $\text{HCO}_3^-$  的含量明显升高, 呈现为高于  $\text{SO}_4^{2-}$  含量。地下水中各阳离子含量由高到低的顺序依次为:  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ 。

(1) 盐分质量组成: 10 余个地下水样品各性质要素的平均值可以反映出当地地下水的一般情况。当地地下水矿化度平均为 13.4 g/L , 电导率约为 20.40 mS/cm , 地下水中  $\text{NaCl}$  含量近似为地下水全盐量的 75.1 % , 呈现显著的海相地下水特征。选择 3 种典型剖面土壤进行 0 ~ 40 cm、0 ~ 100 cm、0 ~

150 cm 3 种层次全盐量及其组成分析(表 2) , 对应的植被类型分别为盐蒿(0-2 P)、棉花 + 芦苇(1-6 P)、水稻(2-1)。由分析结果知: 各深度层次范围的土壤 1:5 浸提液的 pH 值表现出随土壤盐分增加逐渐减小的趋势, 但是各深度范围内土壤的 1:5 浸提液 pH 值都在 9.0 以上, 呈现出较强的碱性特征。当地地下水埋深在 1.5 m 左右, 但是各深度范围土壤溶液电导率都较地下水电导率大幅度降低, 约为当地地下水电导率的 1/5 ~ 1/20。棉花 + 芦苇以及水稻田各深度范围的土壤全盐量约为当地地下水全盐量的 1/3 ~ 1/5, 盐蒿地的土壤全盐量比当地地下水平均全盐量略高, 并呈现出非常明显的盐分表聚特征。这表明在自然条件下当地土壤盐分的发展趋势是积盐, 种稻淋盐效果显著。

表 2 地下水及典型剖面土壤盐分质量组成

Table 2 Quality composition of salts in groundwater and typical soil profiles

| 编号    | 深度<br>(cm) | $\text{EC}_{1:5}$<br>(mS/cm) | pH   | 全盐量<br>(g/L) | 阴离子质量占全盐量<br>的比例发 (%) |                  |               |                    | 阴离子<br>质量<br>(g/kg) | 阳离子质量占全盐量<br>的比例 (%) |                  |              |               | 阳离子 $\text{NaCl}$ 质量<br>质量 占全盐量 |        |
|-------|------------|------------------------------|------|--------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------|---------------|---------------------------------|--------|
|       |            |                              |      |              | $\text{CO}_3^{2-}$    | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ |                     | $\text{Ca}^{2+}$     | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{K}^+$ | $\text{Na}^+$ | (g/kg)                          | 比例 (%) |
|       |            |                              |      |              |                       |                  |               |                    |                     |                      |                  |              |               |                                 |        |
| 地下水平均 |            | 20.40                        | 8.17 | 13.4*        | 0.0                   | 4.5              | 37.3          | 7.4                | 6.5                 | 2.0                  | 3.1              | 7.9          | 37.8          | 6.9                             | 75.09  |
| 0-2P  | 0~150      | 4.21                         | 9.22 | 15.1         | 0.1                   | 0.8              | 39.2          | 7.7                | 7.2                 | 0.9                  | 2.3              | 7.3          | 41.8          | 7.9                             | 80.94  |
| 1-6P  | 0~150      | 0.81                         | 9.48 | 2.9          | 0.4                   | 8.8              | 30.5          | 8.8                | 1.4                 | 1.8                  | 1.7              | 14.1         | 33.8          | 1.5                             | 64.35  |
| 2-1   | 0~150      | 1.21                         | 9.45 | 4.5          | 0.4                   | 6.2              | 31.8          | 8.5                | 2.1                 | 1.2                  | 1.9              | 12.6         | 31.2          | 2.4                             | 62.91  |
| 0-2P  | 0~100      | 4.46                         | 9.22 | 16.0         | 0.1                   | 0.8              | 39.3          | 7.3                | 7.6                 | 0.9                  | 2.3              | 7.2          | 42.1          | 8.4                             | 81.44  |
| 1-6P  | 0~100      | 0.75                         | 9.52 | 2.9          | 0.4                   | 10.2             | 30.0          | 8.3                | 1.4                 | 2.1                  | 1.4              | 14.7         | 32.9          | 1.5                             | 62.87  |
| 2-1   | 0~100      | 1.10                         | 9.45 | 4.0          | 0.5                   | 7.5              | 30.9          | 8.1                | 1.9                 | 1.4                  | 2.0              | 13.0         | 36.6          | 2.1                             | 67.50  |
| 0-2P  | 0~40       | 5.59                         | 9.19 | 20.2         | 0.1                   | 0.8              | 39.6          | 7.4                | 9.7                 | 0.8                  | 2.3              | 7.2          | 41.7          | 10.5                            | 81.36  |
| 1-6P  | 0~40       | 0.97                         | 9.57 | 3.7          | 0.1                   | 9.5              | 30.2          | 10.3               | 1.8                 | 1.9                  | 2.1              | 12.5         | 33.3          | 1.9                             | 63.51  |
| 2-1   | 0~40       | 1.10                         | 9.14 | 4.1          | 0.5                   | 5.8              | 30.2          | 11.1               | 2.0                 | 1.9                  | 2.0              | 15.6         | 32.9          | 2.1                             | 63.11  |

\*此数据为当地地下水矿化度的平均值, 单位为 g/L。

各深度范围内土壤盐分中  $\text{NaCl}$  质量所占的比重基本保持稳定, 并且各剖面土壤中  $\text{NaCl}$  质量所占全盐量比重的相对大小, 与土壤全盐量的相对大小规律一致。 $\text{NaCl}$  所占全盐量的比重表现出随土壤全盐量增加而增大的趋势。

(2) 盐分摩尔组成: 在各地下水样品中都没有检测到  $\text{CO}_3^{2-}$  ,  $\text{Cl}^-$  摩尔数约为阴离子总量的 82% ,  $\text{Na}^+$  摩尔数占阳离子总量的 76 % (表 3)。在各深度土壤样品中都检测到了  $\text{CO}_3^{2-}$  , 并且  $\text{CO}_3^{2-}$  所占阴离子的比重随土壤全盐量的增大而减小, 同时  $\text{CO}_3^{2-}$  所占比重也呈现出随深度增大逐渐加大的趋势。 $\text{HCO}_3^-$  的变化规律则基本与  $\text{CO}_3^{2-}$  的相反。 $\text{Na}^+$  占阳

离子总量的比重随全盐量的增大而增大。水稻田土壤剖面表现出随深度增大  $\text{Na}^+$  占阳离子总量的比重逐渐减小, 而  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  所占比重逐渐增大, 这可能与淋溶条件下土壤颗粒对不同阳离子吸附性能的差异有关。

(3) 地下水矿化度与地下水电导率的关系: 电导率的大小可以反映盐分含量的高低。在盐分组成基本恒定的情况下, 电导率与盐分含量之间通常呈线性关系。鉴于电导率是目前国际上通用的盐分描述形式<sup>[5-10]</sup>, 而国内沿袭长期形成的表达习惯仍多用全盐量表示盐分含量<sup>[11-15]</sup>。对江苏典型滩涂分布区地下水矿化度与其电导率之间的关系进行分析有

表 3 地下水及典型剖面土壤盐分摩尔组成

Table 3 Mol composition of salts in groundwater and typical soil profiles

| 编号    | 深度<br>(cm) | EC <sub>1:5</sub><br>(mS/cm) | pH  | 全盐量<br>(g/L) | 阴离子摩尔比例 (%)                      |                               |                 |                                  | 阳离子摩尔比例 (%)         |                     |                |                 |
|-------|------------|------------------------------|-----|--------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|-----------------|
|       |            |                              |     |              | 1/2CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | 1/2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 1/2Ca <sup>2+</sup> | 1/2Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> |
| 地下水平均 |            |                              |     | 13.4         | 0                                | 5.8                           | 82              | 12.1                             | 3.9                 | 9.5                 | 10.6           | 76              |
| 0-2P  | 0~150      | 4.21                         | 9.2 | 15.1         | 0.2                              | 1.0                           | 86.2            | 12.5                             | 2.1                 | 8.4                 | 8.4            | 81.2            |
| 1-6P  | 0~150      | 0.81                         | 9.5 | 2.9          | 0.9                              | 11.9                          | 71.9            | 15.3                             | 4.1                 | 6.2                 | 15.6           | 74.0            |
| 2-1   | 0~150      | 1.21                         | 9.4 | 4.5          | 1.1                              | 8.7                           | 75.5            | 14.8                             | 2.9                 | 7.2                 | 15.0           | 74.9            |
| 0-2P  | 0~100      | 4.46                         | 9.2 | 16.0         | 0.2                              | 1.1                           | 86.7            | 12.0                             | 2.0                 | 8.2                 | 8.2            | 81.6            |
| 1-6P  | 0~100      | 0.75                         | 9.5 | 2.9          | 0.8                              | 13.9                          | 70.9            | 14.4                             | 4.7                 | 5.3                 | 15.7           | 74.3            |
| 2-1   | 0~100      | 1.10                         | 9.5 | 4.0          | 1.2                              | 10.6                          | 74.1            | 14.2                             | 3.2                 | 7.5                 | 15.6           | 73.7            |
| 0-2P  | 0~40       | 5.59                         | 9.2 | 20.2         | 0.2                              | 1.1                           | 86.6            | 12.1                             | 1.9                 | 8.3                 | 8.3            | 81.5            |
| 1-6P  | 0~40       | 0.97                         | 9.6 | 3.7          | 0.1                              | 12.6                          | 69.7            | 17.6                             | 4.9                 | 8.5                 | 16.0           | 70.6            |
| 2-1   | 0~40       | 1.10                         | 9.1 | 4.1          | 1.0                              | 8.0                           | 71.7            | 19.3                             | 4.6                 | 7.6                 | 19.3           | 68.4            |

注：分析样品全部取自江苏沿海滩涂地区典型地带，包含盐蒿、棉花、芦苇、水稻、杂草等代表性植被类型；土壤盐渍类型包括重、中、轻盐土。

助于实现田间地下水矿化度的快速测定，并且可以节省大量人力、物力，因而具有一定的应用价值。

通过对较大数量地下水样品的分析得知，江苏典型滩涂分布区地下水矿化度与其电导率之间呈极显著线性相关，可表示为

$$Y = 0.626 X + 0.334 \quad (R^2 = 0.986^{**}, n = 35)$$

其中，Y 为地下水矿化度， $0 < Y < 30.75$ ，单位为 g/L；X 为地下水电导率，单位为 mS/cm。

**2.2.4 土壤全盐量与 1:5 土水比浸提液电导率的关系** 在广大沿海滩涂地区，高土壤盐分含量是土地资源得到充分高效利用的最大限制因素。因此，快速且较精确地确定滩涂土壤盐分含量，以便为采取有效措施加速盐渍土壤资源的改造进程提供可靠的决策依据，是目前滩涂开发利用有关科学研究人员关注的焦点之一。由于电导率较土壤全盐量容易得到，并且电导率已经是国际上广泛应用的盐分表示方式，深入研究土壤全盐量与其 1:5 土水比浸提液电导率之间的关系对于确定区域盐分状况有着重要的理论及实用价值。

通过对所采集土壤样品全盐量及其对应电导率的分析，获得了江苏典型滩涂分布区土壤全盐量与其 1:5 土水比电导率之间的关系（图 1）。由图 1 可见，江苏典型滩涂分布区土壤全盐量与其 1:5 土水比浸提液电导率呈极显著线性相关，在实际应用中可以应用该关系进行土壤全盐量的快速分析及相关应用。

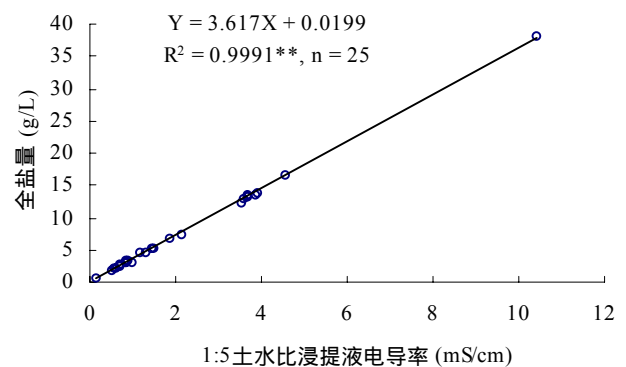


图 1 江苏典型滩涂分布区土壤全盐量与 1:5 土水比浸提液电导率的关系

Fig. 1 Relation between soil total salt content and electrical conductivity of 1:5 soil water solution

### 3 结论

通过较大规模采样分析及数值拟合，研究获知关于江苏典型滩涂分布区地下水及土壤盐分的主要研究成果如下：

(1) 江苏典型滩涂地区地下水矿化度微域差异比较显著，地下水矿化度为 3.83 ~ 30.75 g/L，相应的地下水电导率为 6.42 ~ 52.7 mS/cm。地下水的 pH 值在 7.82 ~ 8.44 之间，呈弱碱性。地下水埋深较浅，一般在 110 ~ 150 cm。当地地下水表现为典型的 Cl-Na 海相型水，其中 NaCl 平均为地下水全盐量的 75.1%。地下水样品中各阴离子顺序一般为 Cl<sup>-</sup>

$> \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ，没有测定出  $\text{CO}_3^{2-}$ ；但是在矿化度低于 8.0 g/L 的地下水中  $\text{HCO}_3^-$  的含量明显升高，呈现为高于  $\text{SO}_4^{2-}$  含量。地下水中各阳离子含量顺序依次为： $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ 。

(2) 土壤盐分与地下水盐分在质量组成及离子摩尔配比方面具有比较密切的联系，同时也存在一定差异。 $\text{NaCl}$  所占全盐量的比重表现出随土壤全盐量增加而增大的规律性。在自然条件下江苏典型滩涂分布区的土壤盐分呈积盐趋势。种稻洗盐对于改善地下水矿化度、加速地下水淡化效果显著。在淡水资源许可的前提下，在滩涂盐渍土地区应当优先选择种植水稻，加速盐渍土改造进程。稻田土壤盐分表现出随深度增大  $\text{Na}^+$  占阳离子总量的比重逐渐减小， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  所占比重逐渐增大的趋势，这可能与淋溶条件下土壤颗粒对不同阳离子吸附性能的差异有关。

(3) 江苏典型滩涂分布区地下水矿化度与地下水电导率、土壤全盐量与 1:5 土水比浸提液电导率，均呈极显著线性相关，可以直接应用对应的关系函数进行相关参数的快速、高精度测定。

#### 参考文献

- 江苏省滩涂研究所. 江苏滩涂研究. 北京: 海洋出版社, 1992, 1
- 杨劲松, 李冬顺, 刘广明, 陈德明. 沿海滩涂地区农业资源优化利用. 长江流域资源与环境, 1999, 8 (S): 51 ~ 55
- 杨劲松, 彭乃志, 陈德明, 李冬顺. 江苏省沿海滩涂资源特征及其优化配置. 土壤通报, 2001, 32(S0): 143 ~ 146
- 周静, 陈巍, 方明, 陈邦本. 我国中部沿海陆域与海岛土壤属性差异的研究. 土壤学报, 2003, 40(3): 407 ~ 413
- Rhoades JD, Shouse PJ, Alves NA. Determining soil salinity from soil electrical conductivity using different models and estimates. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 46 ~ 54
- Rhoades, JD, Chanduvi F, Lesch S. Soil salinity assessment. FAO Irrigation and Drainage Papers, 1999, 57:3 ~ 7
- Tam NFY, Wong YS. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 103: 245 ~ 261
- Heydari N, Gupta AD, Loof R. Salinity and sodicity influences on infiltration during surge flow irrigation. Irrig. Sci., 2001, 20: 165 ~ 173
- Ramsis B. Salama, Clause J. Otto, Robert W. Fitzpatrick. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization. Hydrogeology Journal, 1999, 7: 46 ~ 64
- Hopkins DG, Richardson JL. Detecting a salinity plumb in an unconfined sandy aquifer and assessing secondary soil salinization using electromagnetic induction techniques, North Dakota, USA. Hydrogeology Journal, 1999, 7: 380 ~ 392
- Zhang YB, Deng AY, Zhuang TC, Lin P. Relation between soil salinity in intertidal zone and electric conductivity. Ecology and Environment, 2003, 12 (2): 164 ~ 165
- Sun Yurui. Experimental survey for the soil water content and soil salinity on soil electrical conductivity. Journal of China Agricultural University, 2000, 5 (4): 39 ~ 41
- Liu GM, Yang JS. Study on the correlation of soil salt content with electrical conductivity and soil water content. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32: 85 ~ 87
- 刘广明, 杨劲松. 地下水作用条件下土壤积盐规律研究. 土壤学报, 2003, 40 (1): 65 ~ 69
- 孙权, 丁福荣, 李鹏, 吕海霞, 胡霞, 刘正军. 氮肥对大白菜硝酸盐累积的影响及合理施用量研究. 土壤, 2003, 35 (3): 255 ~ 258

## SALINITY CHARACTERS OF SOILS AND GROUNDWATER IN TYPICAL COASTAL AREA IN JIANGSU PROVINCE

LIU Guang-ming<sup>1</sup> YANG Jing-song<sup>1</sup> JIANG Yan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;*

<sup>2</sup> *Jiangsu Tianhua Dapeng Accountant Co. Ltd., Nanjing 210024*)

**Abstract** In this study contents, compositions and some other characteristics and distribution patterns of salts in the soil and groundwater of a typical intertidal zone in Jiangsu Province were obtained through analysis and numerical fitting of a huge number of soil samples taken thereof. The results show that groundwater salinity was evidently in linear relation to electrical conductivity of groundwater, and so was soil total salinity to electrical conductivity of 1:5 soil water solution. As a result, groundwater/soil salinity could be rapidly acquired with high precision and reliability with the assistance of the relational function respectively. The outcome of this study can be used as an important theoretical basis for decision-making for exploitation and utilization of the shoal resources in Jiangsu, and thus it will find extensive application in future.

**Key words** Coastal shoal resources, Groundwater, Soil salinity, Numerical function