

地下水作用条件下土壤积盐规律研究*

刘广明 杨劲松

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 用粉砂壤土土柱进行了为期一年的室内模拟试验, 对不同地下水埋深及其矿化度作用条件下 0~40 cm 深度土壤的盐分运动规律进行了深入研究。地下水埋深 85 cm、105 cm 情况下, 0~40 cm 深度土壤电导率与地下水矿化度呈良好正相关关系。地下水埋深 155 cm、试验设定条件下, 各土柱 0~40 cm 深度土壤积盐强度都较小, 并且相互之间差异不明显。获得了各土柱 0~40 cm 深度土壤电导率关于地下水埋深、地下水矿化度的统计模型。对土壤电导率动态规律进行了深入分析, 并建立了地下水明显影响到该深度土壤后土壤电导率动态模型。

关键词 地下水埋深, 地下水矿化度, 盐分动态

中图分类号 S156.4⁺1

对土壤盐分运动规律的研究是有效防治土壤次生盐渍化的前提和基础。目前, 对蒸发条件下土壤水盐动态规律已开展了较多的研究^[1~4], 但对作物根系主要分布深度土壤盐分运动规律的研究较少。本文旨在通过室内土柱模拟试验, 研究地下水埋深、地下水矿化度组合作用条件下作物根系主要分布深度土壤的盐分运动规律。本试验中处理设置较多, 试验条件控制比较严格, 是针对长江河口地区水盐运动实际状况开展的。故本项工作对于预测长江河口地区土壤盐渍化发展状况、趋势及对其进行有效防治具有一定指导意义。

三峡建坝后, 工程调蓄将会使长江河口地区原有水盐平衡发生改变, 从而导致该区土壤演变过程进一步复杂化^[5]。本项工作运用土柱模拟试验, 对作物根系主要分布深度(0~40 cm)土壤盐分运动规律进行了较为深入研究, 这不仅对研究长江河口地区土壤次生盐渍化的发生机理、预测与评估该地区土壤盐渍化的发生发展具有重要意义, 而且可以为消除或减轻三峡工程对河口地区生态及环境的影响、建立工程对环境影响的防范对策体系打下一定的理论基础。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤及地下水

1.1.1 供试土壤 室内土柱模拟试验所用土壤采自长江河口地区典型地段, 为发育于长江冲积物上的脱盐潮土, 质地为粉砂壤(美国制), 其初始盐分离子组成如表 1 所示。

表 1 供试土壤盐分组成

Table 1 Salt composition of the soil tested

| pH | 电导率 EC (25°C) (dS m ⁻¹) | 全盐量 Total salt (g kg ⁻¹) | 土壤盐分离子组成 | | | | | | | |
|------|---|--|---|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| | | | Salt composition (cmol kg ⁻¹) | | | | | | | |
| | | | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
| 8.86 | 0.104 | 0.364 | - | 0.176 | 0.296 | 0.075 | 0.240 | 0.080 | 0.032 | 0.196 |

* 中国科学院知识创新项目(ISSASIP0107)、中国三峡工程开发公司项目(SX(97)-11-4)和国家重点基础研究发展规划项目(G1999011803)的部分内容

收稿日期: 2001-02-17; 收到修改稿日期: 2001-12-28

1.1.2 供试地下水 为模拟长江河口土壤在地下水作用条件下的盐分动态, 试验所用地下水水系根据十余个面上地下水样平均的离子组成由人工配制而成, 其各盐分组成如表2所示。

1.2 试验处理

本试验设地下水埋深 85 cm、105 cm、155 cm 三种深度, 地下水矿化度 2 g L^{-1} 、 4 g L^{-1} 、 8 g L^{-1} 三个水平, 共九个土柱, 对应土柱编号如表3所示。

表2 地下水盐分组成
Table 2 Salt regime of groundwater

| 盐分 Salt | 摩尔比例 Molar ratio (%) | 地下水中 各类盐分含量 Salt content in groundwater(g L^{-1}) |
|--------------------------|----------------------------|---|
| CaCl_2 | 10 | 0.77 |
| Na_2SO_4 | 10 | 0.98 |
| MgCl_2 | 15 | 0.99 |
| NaCl | 65 | 5.26 |

表3 地下水条件设置
Table 3 Groundwater depth and salinity

| 土柱号 Soil column No. | 地下水埋深 Groundwater depth (cm) | 地下水矿化度 Ground water salinity (g L^{-1}) |
|------------------------|------------------------------------|--|
| 1 | | 2 |
| 2 | 85 | 4 |
| 3 | | 8 |
| 4 | | 2 |
| 5 | 105 | 4 |
| 6 | | 8 |
| 7 | | 2 |
| 8 | 155 | 4 |
| 9 | | 8 |

每个土柱顶部用一红外灯(250 W)模拟日光蒸发, 土壤表层温度由自动温控装置控制, 设定温度分别为冬季 25°C 、春秋 30°C 、夏季 40°C 。每天 8:30 开始光照, 17:30 结束光照。分别于土柱的不同深度土层, 安装盐分传感器监测土壤盐分的动态变化, 并于同一深度位置布设水分张力计以监测土壤水分动态变化。每一土柱底部布设一马利奥特装置, 用以把地下水位控制在设定高度, 并且测定地下水蒸发量。土柱装置示意图见文献[6]。

1.3 土柱填装、仪表安装及数据观测

根据田间土壤实际容重情况, 填装土柱时控制土柱土壤容重为 1.33 g cm^{-3} 。

各试验土柱填装完毕后, 首先由土柱底部供应蒸馏水, 以使土壤水分含量近似达到田间水分状态。待湿润峰到达土壤表面时, 开始安装观测仪表。

仪表安装结束后, 根据试验设计开始用马利奥特装置向各土柱供应矿化地下水。试验开始后第一个月内每两天观测一次, 第二月初至第五月末每三天观测一次, 第六月初至试验结束每四天观测一次。每次观测各土柱土壤电导率值、水分张力值及地下水蒸发量。

2 结果与讨论

2.1 试验进行一年后0~40 cm 深度土壤电导率

对试验始、末土壤电导率变化进行研究, 可以获得一年中各地下水作用条件下 0~40 cm 土壤电导率的变化规律。这对于研究不同地下水条件对土壤积盐作用的强度具有重要意义。由表4可见, 试验结束时, 地下水埋深 85 cm 的各土柱中, 0~40 cm 深度土壤电导率值(根据实测数据通过加权平均获得)分别是试验开始时的 5~12 倍, 并且随着地下水矿化度的升高, 该倍数依次增加; 地下水埋深 105 cm 的 4、5、6 号土柱中, 0~40 cm 深度土壤电导率值则分别是其初始值的 2.5~4 倍, 同时该倍数亦随地下水矿化度升高而增加; 地下水埋深 155 cm 的各土柱中, 随着地下水矿化度的增大, 试验结束时 0~40 cm 深度土壤电导率与各自初始电导率之比依次减小, 但是总的来说, 7、8、9 号土柱 0~40 cm 深度土壤电导率值没有明显变化。

对试验末的 7、8、9 号土柱 0~40 cm 深度土壤电导率没有较各自初始值明显增加这一现象, 可作以下解释: 由于地下水埋深较大, 7、8、9 号试验土柱的地下水蒸发量明显小于其他地下水埋深、地下水矿化度土柱的蒸发量, 故 7、8、9 号土柱 0~40 cm 深度土壤积盐量较小; 同时, 7、8、9 号土柱 0~40 cm 深度土壤较其余土柱 0~40 cm 深度土壤干燥, 可能会对盐分传感器的敏感性有所影响, 导致 0~40 cm 深度

土壤电导率稍偏低。

表4 试验始末各模拟土柱0~40 cm深度土壤电导率¹⁾

Table 4 Electric conductivity of soil columns in 0~40 cm layer at the beginning and ending of the one year experiment

| 土柱编号 Soil column No. | 初始电导率 Original electric conductivity (mS cm ⁻¹) | 试验末电导率 Final electric conductivity (mS cm ⁻¹) | 相对大小 Relative value | 末/始 Ratio of final to original electric conductivity |
|-------------------------|--|--|------------------------|---|
| 1 | 1.431 | 7.308 | 1 | 5.11 |
| 2 | 2.042 | 15.55 | 2.13 | 7.62 |
| 3 | 1.891 | 23.19 | 3.17 | 12.3 |
| 4 | 1.65 | 4.17 | 0.57 | 2.53 |
| 5 | 2.06 | 8.38 | 1.15 | 4.07 |
| 6 | 2.02 | 8.38 | 1.15 | 4.07 |
| 7 | 1.889 | 3.667 | 0.50 | 1.94 |
| 8 | 2.817 | 3.667 | 0.50 | 1.31 |
| 9 | 2.965 | 2.963 | 0.41 | 1.00 |

1) 表中相对大小为试验一年时,各模拟土柱0~40 cm深度土壤电导率的相对值;末/始为试验一年时与初始时间同一土柱0~40 cm深度土壤电导率之比

由试验进行一年后各土柱0~40 cm深度土壤电导率及其相对大小可知:试验进行一年后,地下水埋深85 cm以及105 cm土柱0~40 cm深度土壤电导率,与其对应地下水矿化度显著正相关。此外由于地下水埋深的差异,即使地下水矿化度相同,土柱0~40 cm深度土壤电导率仍存在显著不同。以中等地下水矿化度的2、5、8号土柱为例,试验结束时,2号土柱0~40 cm深度土壤盐分含量近似为5号土柱0~40 cm深度土壤盐分的2倍,而8号土柱0~40 cm深度土壤电导率与其余二者电导率的差别更为明显。

综合上述结果,试验揭示出河口地区局部土壤盐化是地下水埋深、地下水矿化度共同作用的结果。为了评价这一作用,对试验进行一年后土柱0~40 cm深度土壤电导率与地下水埋深、地下水矿化度的关系进行了深入分析,得知该关系可表示为:

$$Y = 21.13 - 0.161X_1 + 1.444X_2 \quad (R = 0.883^{**})$$

其中, Y 为0~40 cm深度土壤电导率(mS cm⁻¹), X₁ 为地下水埋深(cm), X₂ 为地下水矿化度(g L⁻¹)。

2.2 0~40 cm深度土壤盐分动态规律

作物根系主要分布在0~40 cm深度土壤中,因此该深度土壤的盐分含量与作物生长状况密切相关。由各土柱0~40 cm深度土壤电导率动态(见图1)可见,根据0~40 cm深度土壤积盐速率的大小,大致上可以把试验全过程分为三个阶段:(1)试验开始至第3个月末,是0~40 cm深度土壤盐分累积极缓慢阶段;(2)第3个月末至第8个月初,是0~40 cm深度土壤快速积盐阶段;(3)第8个月初至一年末,是缓慢积盐阶段。

在第一阶段,因为矿化地下水所携带的盐分尚未到达0~40 cm深度土壤,各模拟土柱0~40 cm深度土壤电导率呈现极缓慢增加状态。试验开始后半月时间内,各土柱0~40 cm深度土壤电导率都经历一个先下降然后保持基本稳定这样一个过程。造成这一现象的原因是,由于各土柱顶部都布设了一个红外灯模拟光照,试验开始后,新的水分平衡状态尚未形成,0~40 cm深度土壤水分含量逐渐增大(由实测数据证实),导致土壤电导率逐渐减小;当土表水分蒸发量和下层土壤供水量达到新的动态平衡时,0~40 cm深度土壤电导率才呈现极缓慢增加状态。

处于第二阶段时,1~6号土柱0~40 cm深度土壤盐分累积都非常迅速,其电导率值持续显著增加;7、8、9号土柱0~40 cm深度土壤电导率仍然没有比较显著的增大。地下水埋深85 cm土柱(编号1、2、3)0~40 cm深度的土壤电导率,要比地下水埋深105 cm土柱(编号4、5、6)的开始快速增加的时间早大约20天。

处于第三阶段时,各土柱0~40 cm深度土壤积盐都较缓慢,其中7、8、9号土柱0~40 cm深度土壤

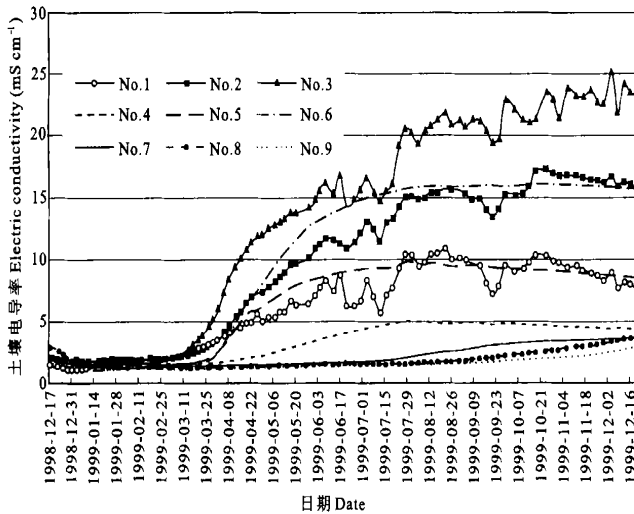


图 1 0~40 cm 深度土壤电导率动态

Fig. 1 Electric conductivity dynamics of soils in 0~40 cm layer

电导率呈现较此前稍快速的积盐状态。

从各土柱 0~40 cm 深度土壤电导率动态曲线可见,各土柱 0~40 cm 深度土壤电导率,无论处于快速积盐阶段还是缓慢积盐阶段,都呈现明显的规律即:7、8、9号土柱 0~40 cm 深度土壤积盐速度没有明显区别;在地下水埋深 85 cm 或 105 cm 情况下,等地下水埋深土柱 0~40 cm 深度的土壤电导率,在动态变化的过程中总呈现随地下水矿化度升高发展速率依次增大、同一时间数值依次增大的规律性。

3月23日进行的表层采样对各土柱 0~40 cm 深度的土壤电导率都近乎没有任何影响;6月17日表层采样则对地下水埋深 85 cm 土柱的 0~40 cm 土壤电导率有显著影响;9月3日进行的表土回填亦仅仅影响到地下水埋深 85 cm 土柱 0~40 cm 土壤的电导率。由此可见,地下水埋深 85 cm 情况下,土表条件出现不大的变化就可以使 0~40 cm 深度土壤的电导率产生较大的变动。

2.3 0~40 cm 深度土壤电导率动态模型

为揭示试验期间,土柱 0~40 cm 深度土壤电导率随时间的变化规律,结合试验数据,对地下水开始影响 0~40 cm 深度土壤(1999年3月初)以后各土柱 0~40 cm 深度土壤电导率进行深入分析,建立了各土柱 0~40 cm 深度土壤电导率关于时间的统计模型(见表 5)。凭此模型,可以对不同地下水作用条件下 0~40 cm 深度土壤电导率加以预测。

表 5 各模拟土柱 0~40 cm 深度土壤电导率与时间的关系¹⁾
Table 5 Dynamic models of soil electric conductivity (of 0~40 cm layer)

| 土柱编号 Soil column No. | 模型 Model | R | n |
|-------------------------|-----------------------------|-------|----|
| 1 | $Y = 4.9571 \ln x - 18.969$ | 0.882 | 73 |
| 2 | $Y = 10.538 \ln x - 44.106$ | 0.975 | 73 |
| 3 | $Y = 14.296 \ln x - 59.345$ | 0.978 | 73 |
| 4 | $Y = 2.5883 \ln x - 9.9572$ | 0.908 | 73 |
| 5 | $Y = 5.1616 \ln x - 19.715$ | 0.856 | 73 |
| 6 | $Y = 10.901 \ln x - 45.457$ | 0.928 | 73 |
| 7 | $Y = 1.8838 \ln x - 7.7432$ | 0.930 | 73 |
| 8 | $Y = 1.3104 \ln x - 5.0622$ | 0.835 | 73 |
| 9 | $Y = 0.6777 \ln x - 1.9229$ | 0.773 | 73 |

1) 模型中 Y 为 0~40 cm 深度土壤电导率值(mS cm⁻¹), x 为时间(d), x > 90

3 结 论

试验进行一年后,地下水埋深 85 cm、105 cm 土柱 0~ 40 cm 深度土壤电导率都比较大,并且随地下水矿化度的升高依次明显增加。试验条件下,地下水埋深 155 cm 土柱 0~ 40 cm 深度土壤积盐强度不大。地下水开始明显影响 0~ 40 cm 深度土壤盐分后,土壤电导率与地下水作用时间都呈对数关系。各试验土柱 0~ 40 cm 深度土壤电导率发展变化过程大致可以分为三个阶段,即极缓慢积盐阶段、快速积盐阶段、缓慢积盐阶段。

参考文献

1. 尤文瑞,孟繁华,肖振华. 蒸发条件下非饱和粉砂壤土水盐动态. 见:俞仁培主编. 土壤水盐动态和盐碱化防治. 北京:科学出版社,1987. 1~ 14
2. 孟繁华,尤文瑞,王福利. 蒸发条件下非饱和粘土水盐动态的研究. 见:俞仁培,尤文瑞主编. 土壤盐化、碱化的监测与防治. 北京:科学出版社,1993. 74~ 82
3. 欧阳丽,孟繁华,肖振华,等. 蒸发条件下有粘土夹层粉砂壤土水盐动态. 见:俞仁培,尤文瑞主编. 土壤盐化、碱化的监测与防治. 北京:科学出版社,1993. 61~ 73
4. 刘福汉,王遵亲. 潜水蒸发条件下不同质地剖面的土壤水盐运动. 土壤学报,1993,30(2):173~ 181
5. 蔡述明,马毅杰,朱海虹,等. 三峡工程与沿江湿地及河口盐渍化土地. 北京:科学出版社,1997. 154
6. 刘广明,杨劲松,李冬顺. 地下水蒸发规律及其与土壤盐分的关系. 土壤学报,2002,39(3):384~ 389

SALT DYNAMICS IN SOIL UNDER CONDITIONS OF DIFFERENT GROUNDWATER TABLES AND SALINITIES

Liu Guang-ming Yang Jing-song

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Summary

A one-year indoor soil column simulation experiment was conducted to study salt dynamics in soil (0~ 40 cm layer) of silt loam with different groundwater conditions. The obtained results show that electric conductivity of the soil (EC_0) is in positive correlation to groundwater salinity under the condition of groundwater table ranging from 85 cm to 105 cm. When the groundwater table is at 155 cm, salt accumulation of the soil columns in 0~ 40 cm layer is much less intensive and varies slightly in intensity regardless of the difference in groundwater salinity. In order to evaluate the effect of groundwater table and salinity on EC_0 , a statistical model was built. Deeper analysis of the law of the dynamics of soil electric conductivity has eventually led to the set-up of models about EC_0 dynamics (after mineral groundwater influenced EC_0 evidently).

Key words Groundwater table, Groundwater salinity, Salt dynamics