

# 排水地段土壤盐分变化特征分析\*

王金九<sup>†</sup> 王文焰 汪志荣 张建丰

(西安理工大学水资源研究所, 西安 710048)

张江辉 丁新利 周黎勇 毛广彬

(新疆水利水电科学研究院)

**摘 要** 根据田间排水地段实测的土壤含盐量与地下水埋深和矿化度, 分析了土壤盐分组成变化特征以及覆膜种植对抑制土壤积盐的效应。根据潜水蒸发特点, 确定了建立地下水埋深与土壤含盐量间单一函数关系的方法, 为根据土壤含盐量确定地下水临界深度提供指导。

**关键词** 土壤盐分, 矿化度, 地下水埋深

**中图分类号** S152.7

在灌溉期, 灌溉水渗入土壤并通过非饱和带与地下水发生联系, 引起地下水位上升。同时排水系统通过排水沟将部分水分输出田间, 土面蒸发作用也使部分水分逸出土面进入大气, 而植物蒸腾使土壤水分通过叶面或其他植物器官进入大气, 这样灌溉水经历了入渗—补充土壤水—地下水上升—农田排水—土面蒸发—植物吸收利用等过程, 构成了整个水分循环过程。盐分一般伴随水分的运动而迁移, 因此水分的这些运动过程必然引起土壤盐分相应的迁移过程。在灌溉淋溶作用下表层土壤发生脱盐, 盐分进入地下水并通过排水系统流出排水区域。同时在蒸发和蒸腾作用下地下水中的盐分又随水分的上移积累在上层土壤中, 并引起土壤积盐。因此在整个灌溉期上层土壤经历着反复的脱盐和积盐过程。

不同离子在土壤中具有不同的迁移特征, 因此在土壤含盐量中不同离子所占的比值有所区别, 对于这种区别需进行分析研究, 才有利于采取针对性的盐碱地改良措施<sup>[1~3]</sup>。覆膜种植是近年来发展起来的新型种植技术。有关研究表明, 覆膜种植可以提高地温、减少土面蒸发、缩小作物主根系活动范围。由于其具有减少土面蒸发作用, 必然有利于控制潜水蒸发所引起的土壤积盐过程。但这种抑制效果如何, 对哪些离子的抑制作用更为明显等问题, 目前仍未看到有关报道, 有必要进行分析研究。在排水沟设计中, 地下水临界深度是一个关键性参数。地下水临界深度仅从控制潜水蒸发角度进行考虑, 未考虑地下水矿化度对临界深度的影响。由于临界深度不可能确定为完全控制潜水蒸发的深度, 一

\* 国家自然科学基金、中科院重大项目(KZ951-B1-211)、土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目

<sup>†</sup> 中科院水土保持研究所高级访问学者

收稿日期: 1999-09-09; 收到修改稿日期: 2000-07-10

部分潜水必然还参与蒸发过程,这样地下水矿化度愈高所引起的土壤积盐愈严重。因此临界深度也受到地下水矿化度的影响,需要建立土壤含盐量与地下水埋深和矿化度之间关系。本文根据田间实验资料,就土壤含盐量中各离子所占的比值、覆膜种植抑制土壤积盐的效果、以及土壤含盐量与地下水埋深和矿化度间关系进行了分析研究。

## 1 试验区基本情况

### 1.1 试验区自然条件

试验区地处新疆天山北坡,准葛尔盆地南缘,古老冲击平原的下游地带。北靠古尔班通古沙漠,处于沙漠边缘,气候干燥,属于典型的大陆性气候。年平均气温  $6.3^{\circ}\text{C}$ ,年日照时间为 2867 h,年降水量 141.3 mm,蒸发量为 1808.1 mm,蒸降比为 13:1。

### 1.2 试验区土壤质地

试验区内布置三个排水地段,并在三个排水地段提取一定的土样,在室内利用筛分法和吸管法测定了土壤颗粒组成,测定结果列在表 1 中。

表1 排水地段土壤颗粒组成  
Table 1 Soil particle size of drainage land (%)

排水地段 Drainage plot	粒径 Size:mm									
	<2	<1	<0.5	<0.25	<0.1	<0.05	<0.025	<0.01	<0.005	<0.002
A	98.4	97.6	94.5	90.9	84.3	77.7	61.3	40.53	28.56	12.91
B	99.9	99.9	99.8	99.7	99.7	73.8	60.0	35.1	27.4	13.5
C	99.7	98.6	98.5	98.4	96.7	81.0	68.3	52.1	35.2	3.7

根据国际土壤分类标准,上述三种土壤 A、B、C 分别为粉质壤土、粘壤土和壤质粘土,基本属于壤土类。

### 1.3 试验区土壤盐化类型

土壤盐化类型直接影响着排盐的难易程度和土壤盐分动态变化特征,因此确定土壤盐化类型是采取合理措施进行盐碱地改良的基础和前提,为此对排水地段的土壤含盐组分状况进行了实地测定,测定结果如表 2 所示。

表2 灌溉前土壤盐分组分  
Table 2 Soil salt component before irrigation

地块 Drainage plot	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$	$\text{Mg}/\text{Ca}$
A	2.28	1.44	1.11
B	1.61	0.97	0.94
C	1.18	1.92	0.51
平均	1.69	1.44	0.85

由表 2 可知,虽然三地段各种成分的比值有一定的差别,但这种差别比较小。同时三地段属于一个排水系统,因此土壤盐化类型将根据三地段的平均含盐组分来确定。土壤盐化类型属于硫酸盐—氯化物—钙—钠型盐碱土。

### 1.4 灌前地下水埋深和矿化度

在各个排水地段设置了地下水观测井,通过观测井观测排水地段地下水水位变化过程,以及通过取样的方式,测定地下水矿化度和水质。经测定分析,各排水地段的地下水的埋深基本在 1.5~1.8 m 之间。地下水矿化度在 15.78~43.1 g/L 之间,矿化度相当高,这说明在蒸发剧烈季节,地下水返盐将是相当严重。由于本地段地下水埋深较浅,地下水中的盐分易于随着潜水蒸发进入上层土壤,因此土壤盐分与地下水中存在的盐分有着直接联系。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 土壤含盐量与主要组分间关系

在灌溉期试验地段进行了三次灌溉,灌溉前后在三个排水地段提取土样,并测定了土壤含盐量和各离子含量。由于土壤和地下水中存在大量的氯离子和硫酸根,这里就氯离子和硫酸根与土壤含盐量间关系进行分析。以便根据土壤含盐量来估算各离子含量。将实测的土壤含盐量与氯离子和硫酸根含量的关系点绘在图 1 和图 2 上。

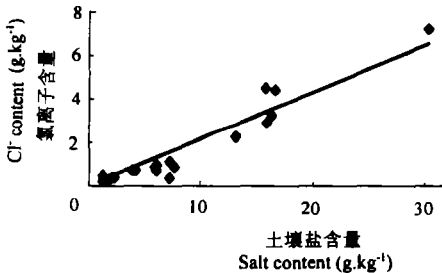


图 1 土壤含盐量与氯离子含量间关系

Fig.1 Relationship between salt content and  $\text{Cl}^-$  content of soils

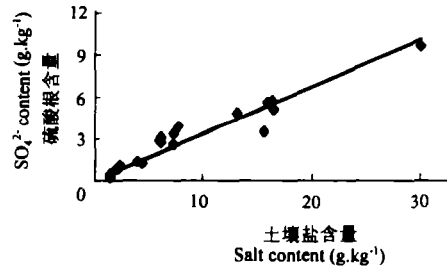


图 2 土壤含盐量与硫酸根含量间关系

Fig.2 Relationship between salt content and  $\text{SO}_4^{2-}$  content of soils

由图 1 和图 2 可见,土壤含盐量与氯离子和硫酸根离子含量间存在着明显的线性关系。利用线性函数拟合其关系,结果如下:

$$W_{\text{cl}} = 0.2206 W_{\text{s}}, \quad R = 0.95 \quad (1)$$

$$W_{\text{so}} = 0.3341 W_{\text{s}}, \quad R = 0.94 \quad (2)$$

式中  $W_{\text{cl}}$  为氯离子含量(g/kg),  $W_{\text{s}}$  为土壤含盐量(g/kg),  $W_{\text{so}}$  为土壤硫酸根含量(g/kg),  $R$  为相关系数。

根据这些所得的关系,可以利用土壤含盐量确定各离子含量。同时式(1)和(2)反映了在土壤含盐量中氯离子所占比例较硫酸根离子小。

### 2.2 覆膜种植抑制土壤积盐效果分析

为了分析覆膜种植抑制土壤积盐效果,在三个排水地段上,在膜下和膜侧分别在 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm 深度内提取土样,测定土壤的含盐量,测定结果如图 3、4 和 5 所示。

由图 3~5 可知,有膜和无膜土壤含盐量间存在明显的线形关系,并对上述关系进行

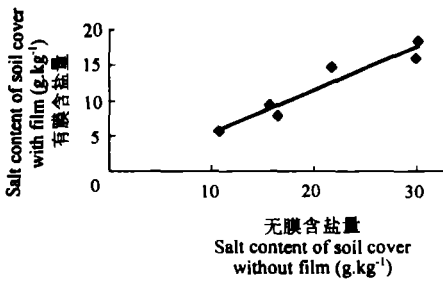


图3 0~5cm内有膜与无膜土壤含盐量关系  
Fig.3 Salt content of soil covered with film and without film at the depth of 0~5cm

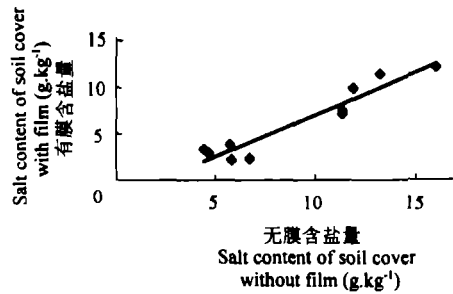


图4 5~20cm内有膜与无膜土壤含盐量关系  
Fig.4 Salt content of soil covered with film and without film at the depth of 5~20cm

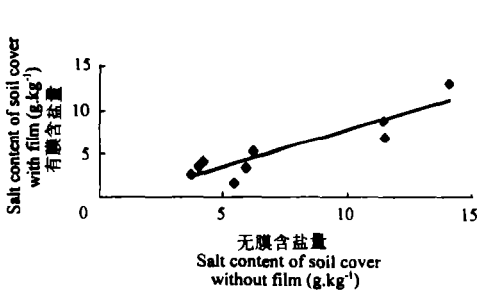


图5 20~40cm内有膜与无膜土壤含盐量关系  
Fig.5 Salt content of soil covered with film and without film at the depth of 20~40cm

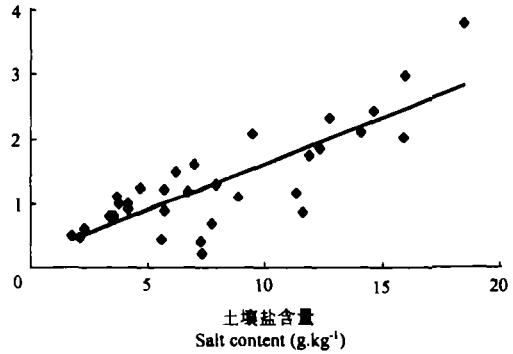


图6 覆膜条件下土壤含盐量与氯离子含量间关系  
Fig.6 Relationship between soil salt content and Cl⁻ content of soils with a film covering

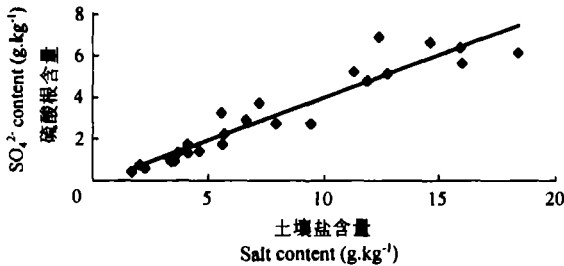


图7 覆膜条件下土壤含盐量与硫酸根含量间关系  
Fig.7 Relationship between salt content and SO₄²⁻ content of soils with a film covering

拟合,结果如下:

$$0\sim 5\text{cm } W_{fs} = 0.5795W_s \quad R = 0.958 \quad (3)$$

$$5\sim 20\text{cm } W_{fs} = 0.7379W_s \quad R = 0.935 \quad (4)$$

$$20\sim 40\text{cm } W_{fs} = 0.7678W_s \quad R = 0.921 \quad (5)$$

式中  $W_{fs}$  为覆膜种植土壤含盐量。由等式(3)~(5)可知,在0~5 cm、5~20 cm和20~40 cm土层内有膜土壤含盐量仅为无膜的57.95%、73.79%和76.78%,并表现为随深度增加而有膜

土壤含盐量与无膜土壤含盐量的比值增加,这些表明了覆膜种植具有明显的抑制盐分上移的作用。

一般认为土壤中阴离子与土壤颗粒不发生作用,因此阴离子更能体现覆膜对抑制盐分上移的作用。但不同阴离子这种抑制作用体现的程度也不同。下面就氯离子和硫酸根进行分析,图6和7分别显示了覆膜条件下土壤含盐量与氯离子和硫酸根含量间关系。并利用线性曲线拟合两者关系,结果如下:

$$W_{cl} = 0.1599W_s, \quad R = 0.95 \quad (6)$$

$$W_{\text{iso}} = 0.4119W_s, R = 0.94 \tag{7}$$

由式(6)和(7)可知,土壤含盐量与氯离子和硫酸根含量同样呈明显的线形关系。但是氯离子和硫酸根含量分别占土壤含盐量的 15.99% 和 41.19%,而无膜土壤氯离子和硫酸根含量分别占土壤含盐量的 22.06% 和 33.41%。相比之下氯离子所占比例减小,而硫酸根所占比例增加,说明覆膜种植更有利于控制氯离子的上移。这主要是由于氯离子在脱盐过程中迁移的较硫酸根快,而覆膜抑制了蒸发,这样氯离子向上迁移的速度减小,因而形成了有膜与无膜的差别。这些事实证实覆膜种植在开发利用盐碱地方面的重要作用。

### 2.3 土壤含盐量与地下水埋深和矿化度间关系分析

土壤积盐程度主要与大气蒸发能力、土壤特性、地下水埋深和矿化度有着直接关系。在大气蒸发能力和土壤特性一定的情况下,土壤积盐程度主要与地下水埋深和矿化度有关。在灌溉压盐冲洗期间,地下水得到了淡化,上层土壤经历了脱盐过程。而在灌溉结束后,在蒸散发作用下,土壤有积盐,土壤含盐量增加。因此如果不考虑地下水矿化度的作用,在整个灌溉期,土壤含盐量与地下水埋深不存在单调函数关系。图 8 显示了在三个排水地段实测的土壤含盐量与地下水埋深关系。

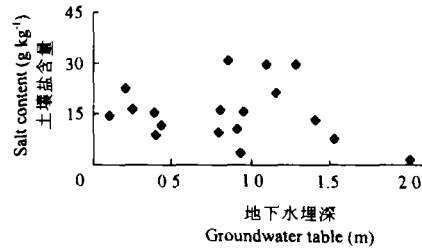


图 8 实测地下水埋深与土壤含盐量关系

Fig.8 Relationship between soil salt content and measured groundwater table

由图 8 可知,地下水埋深与土壤含盐量间不存在明显关系。这主要由于在整个灌溉期地下水的矿化度并非常数所致。因此欲得到土壤含盐量与地下水埋深间的单调函数关系,就需要对上述实测资料进行一致性处理。

有关室内模拟实验结果表明,在地下水位一定情况下土壤含盐量与地下水矿化度呈线形关系。如果假定土壤含盐量都是在蒸散发作用下进入上层土壤,根据实测的表层地下水矿化度和下层(土面下 4 m 以下)地下水矿化度,对不同条件下实测的土壤含盐量进行一致性处理。认为土壤含盐量与地下水矿化度成正比,这样有下式关系:

$$\frac{W_s}{m_s} = \frac{W_n}{m_n} \tag{8}$$

式中  $W_n$  为校正土壤含盐量,  $m_s$  为表层地下水矿化度,  $m_n$  为深层地下水矿化度。根据实测地下水表层矿化度、初始矿化度和 0~40cm 内土壤含盐量,利用式(8)计算校正土壤含盐量。并将校正含盐量与相应的地下水埋深关系点绘在图 9 上。

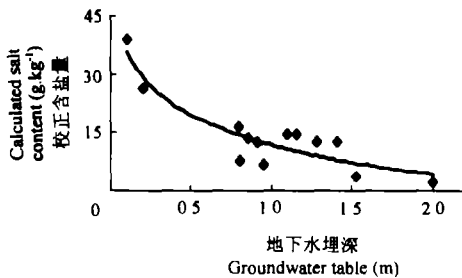


图 9 校正土壤含盐量与地下水埋深间关系

Fig.9 Relationship between calculated soil salt content and groundwater table

由图 9 可知,校正的土壤含盐量与地下水埋深间存在明显的单值函数关系,并利用函数对上述关系进行拟合,结果如下:

$$W_n = 3.8802e^{-1.2254H}, R = 0.91 \tag{9}$$

式中  $H$  为地下水埋深(m)。由等式(9)可知,校正土壤含盐量与地下水埋深存在良好的指

数函数关系。说明利用等式(8)可以将不同条件下的土壤含盐量与地下水埋深间关系转化成单值函数。这样可根据等式(8)和(9)以及作物耐盐度确定地下水临界深度。

### 3 结 语

根据实测排水地段土壤含盐量及组分含量、地下水埋深和矿化度资料,分析了土壤含盐量与氯离子和硫酸根含量间的关系。特别就覆膜种植对抑制土壤盐分上移作用进行了详细分析,分析结果表明覆膜种植具有明显的抑制盐分上移的作用。因此利用覆膜种植技术不仅具有提高地温、节水的功效,而且大大抑制地下水盐分的上移。同时根据潜水蒸发以及土壤积盐基本特征,提出将土壤含盐量与地下水埋深非单值函数关系转化为单值函数关系的方法,为利用土壤含盐量确定地下水临界深度提供了指导。

### 参 考 文 献

1. 王遵亲等. 中国盐碱土. 北京: 科学出版社, 1993
2. 石元春等. 盐碱土的水盐运动. 北京农业大学出版社, 1986
3. 罗家雄等. 新疆垦区盐碱地改良. 北京: 水利电力出版社, 1983

## ANALYSIS OF FEATURES OF SOIL SALT IN A DRAINAGE AREA

Wang Quan-jiu Wang Wen-yan Wang Zhi-rong Zhang Jiang-feng

(*Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048*)

Zhang Jiang-hui Ding Xin-li Zhou Li-yong Mao Guang-bin

(*Xinjiang Institute of Water Conservation and Hydraulic Power*)

### Summary

According to measured soil salt content, groundwater table and degree of mineralization features of component of soil salt was analyzed and effect of the film laid on soil surface on salt transport from groundwater to soil surface was studied. A simple function relationship between groundwater table and soil salt content was established to provide a method of determining groundwater critical depth, considering the effect of mineralization degree of groundwater.

**Key words** Soil salt, Degree of mineralization, Groundwater table