

# 灌溉灰钙土水盐动态之初步研究\*

田积莹 黄义端 米登山

(中国科学院西北水土保持研究所)

宁夏南部气候干旱,淡水十分缺乏,但苦水资源尚丰,为了提高农业生产,势必发展苦水灌溉。该区为底层盐化灰钙土,苦水灌后大量盐分积累在上层土壤中,导致表土很快发生次生盐渍化,影响农业生产的进一步发展。土壤盐分随水分而运动,两者在行迹上是密切一致的。土壤的积盐和脱盐,就是土壤水分随着灌水及气候季节变化而运动的结果。因此我们必须按照一年中不同季节及多年的观察测定,来研究水盐的动态,掌握水盐运行规律,以便指导苦水灌溉,发展农业生产。

## 一、关于水盐运动问题

### (一) 旱地土壤水盐运动

根据 1976 年及 1977 年水盐观察结果(表 1),轻壤质底层盐化灰钙土的盐分含量约以 120 厘米左右处为分界,其上为 0.04—0.08%,其下达到 0.44—0.56%。底土已达重盐渍化程度,表明降水长期很少渗透到 120 厘米以下。从表 1 可看出,同一剖面同一时期的测定中,凡是在盐分含量上下层相差悬殊的层次,其水分含量亦有显著的差异。在底土盐分显著增多的交界处,该层土壤水分经年很少超过 10%,仅雨季可能超过 10%,由此不难看出水分运动的土壤湿度下限值约为 10%(干土重),即含水量大于此值,盐分可随之上下移动,小于此值则不行。我们的观察结果和 Измайльский 和 Ротмистров 等学者<sup>[4]</sup>的观察结果基本一致。因此黄土地区土壤含水量 10%(轻壤土)是土壤水分运动的土壤湿度下限值,也是判断土壤盐分是否能发生移动的界限含水量。

### (二) 灌溉地的土壤水盐状况

灌溉地(表 2)与旱地<sup>1)</sup>土壤盐分在剖面中的分布状况相反,灌溉地在每年灌溉之前表层含盐量高,而底层含盐量少。如同心县王团公社王团北三队杨庄子旱地土壤 120 厘米以上含盐量加权平均值为 0.064%,相当于每公顷总含盐量为 10.75 吨(土壤容重为 1.40 克/厘米<sup>3</sup>),当地冬灌每公顷 1800 方水(矿化度 4 克/升),则每公顷由灌溉水携入的盐量为 7.2 吨,假设这些盐分都保留在 1.2 米土层内,两项合计 17.95 吨。然而旱地经 1975 年底灌一次冬水后,1976 年 5 月 9 日灌溉前测定含盐量(表 2 中的灌溉第一年)在 120 厘米以上加权平均达到 0.219%,每公顷总计含盐量为 36.79 吨,旱地和灌溉过一次冬水的土地

\* 参加工作的还有史瑞云、雍绍萍同志。

1) 旱地为“靠天吃饭”的非灌溉农田(也即“望天田”)。

表 1 旱地轻壤质灰钙土水分及盐分状况

Table 1 Water and salt regime in upland sierozem of light loamy texture

深度 (cm) Depth	1976 年		1977 年				
	7 月 4 日	8 月 24 日	5 月 24 日	6 月 7 日	6 月 26 日	7 月 24 日	8 月 18 日
	水分 (%)		Water (%)				
0—5	1.6	14.1	3.1	4.3	3.3	4.5	—
5—10	2.6	16.0	9.8	9.1	7.7	4.9	—
10—20	3.5	16.5	11.3	10.0	8.5	6.2	—
20—30	4.9	15.7	14.6	13.3	10.4	6.9	—
30—40	6.5	16.4	13.0	14.2	10.0	10.2	—
40—50	6.6	12.9	12.3	12.2	10.9	9.5	—
50—60	4.4	14.0	12.6	13.8	10.8	8.7	—
60—70	4.3	9.9	10.8	11.4	9.7	9.1	—
70—80	5.2	5.6	11.0	11.8	10.7	12.6	—
80—90	5.6	6.0	13.4	11.6	10.5	11.8	—
90—100	6.8	5.7	11.7	9.9	11.5	18.3	—
100—120	9.9	9.7	8.2	10.6	6.0	8.8	—
120—140	7.2	9.8	9.2	9.9	7.7	13.2	—
140—160	9.1	8.9	17.5	15.6	15.4	14.9	—
160—180	10.5	13.5	15.4	15.0	14.8	15.6	—
180—200	17.5	14.6	22.4	17.0	21.6	15.5	—
	盐分 (%)		Salt (%)				
0—10	0.04	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.04
10—30	0.04	0.04	0.05	0.09	0.04	0.04	0.04
30—60	0.05	0.05	0.05	0.11	0.05	0.04	0.05
60—90	0.05	0.06	0.07	0.10	0.07	0.06	0.07
90—120	0.07	0.08	0.08	0.10	0.06	0.06	0.37
120—150	0.15	0.24	0.25	0.45	0.07	0.36	0.50
150—200	0.19	0.49	0.46	0.48	0.44	0.44	0.56

注: 地点是同心县王团北三队杨庄子。

相比,灌溉过一次冬水地的盐分含量显著高于旱地,扣除灌溉水带入的盐量和旱地原有的盐量,每公顷由底土带入 120 厘米以上土体中的盐分为 18.84 吨,约相当一次冬灌水带入土中盐量的 2.6 倍。证明当地用苦水灌溉而引起土壤发生次生盐渍化的主要原因,除了由于苦水带入的盐分积累外,在最初更是由于累积于底土中的盐分随水沿毛管上升而又聚积于表土中的结果<sup>[3]</sup>。

根据多年对土壤水分含量的观测,除表层外,旱地土壤水分一般为 4—9%,仅在雨后高达 10—15%,三年(1976—1978)水分平均值均徘徊在 10% 左右,旱地水分运动极为缓慢,以致使土壤盐分移动也极为微弱。但另一方面,不论灌溉一、二年甚至灌溉七、八年的土地,土壤含水量均超过 10% 以上,轻壤土一般含水量为 13—20%,多数在 16% 左右,粘土一般为 14—22%,多数在 20% 左右,由此可以推断,灌溉土壤中的水盐,除去冬季冻结期外,终年均可发生较强烈的运动及变化,这种运动及变化与当地气温、蒸发、降雨、灌溉以及农作物对水分的吸收和蒸腾作用均有关系,并具有相应的水盐运动年变规律,即积

表2 灌溉灰钙土的盐分(%)状况  
Table 2 Salt regime in the irrigated sierozem

深度 (cm) Depth	轻壤土(杨庄子) Light loam					
	灌溉第一年(1976) First year of irrigation			灌溉第二年(1977) Second year of irrigation		
	5月9日	5—6月	7—8月	2月24日	5—6月	7—8月
	灌溉前 E:fore irrigation	灌溉期 In the period of irrigation	停灌期 After irrigation	灌溉前 Before irrigation	灌溉期 In the period of irrigation	停灌期 After irrigation
0—10	0.61	0.29	0.09	0.76	0.22	0.20
10—30	0.14	0.20	0.14	0.12	0.18	0.22
30—60	0.23	0.21	0.19	0.16	0.25	0.21
60—90	0.19	0.17	0.21	0.28	0.25	0.24
90—120	0.16	0.16	0.18	0.29	0.24	0.18
120—150	0.14	0.25	0.31	0.37	0.22	0.19
150—200	0.14	0.29	0.32	0.77	0.37	0.45

轻壤土(南堡子) Light loam						
	灌溉第六年(1976) 6th year of irrigation			灌溉第七年(1977) 7th year of irrigation		
0—10	0.66	0.24	0.21	0.78	0.19	0.18
10—30	0.24	0.18	0.16	0.18	0.16	0.18
30—60	0.21	0.23	0.21	0.14	0.16	0.20
60—90	0.18	0.28	0.21	0.19	0.18	0.21
90—120	0.18	0.24	0.24	0.19	0.20	0.23
120—150	0.19	0.22	0.21	0.18	0.23	0.28
150—200	0.21	0.19	0.17	0.25	0.19	0.20

粘土(北滩) Clay soil						
	灌溉第七年(1976) 7th year of irrigation			灌溉第八年(1977) 8th year of irrigation		
0—10	0.34	0.22	0.11	—	0.19	0.12
10—30	0.17	0.18	0.15	—	0.13	0.24
30—60	0.21	0.20	0.24	—	0.16	0.27
60—90	0.17	0.21	0.47	—	0.23	0.35
90—120	0.26	0.24	0.50	—	0.22	0.36
120—150	0.28	0.24	0.39	—	0.22	0.37
150—200	0.22	0.22	0.30	—	0.25	0.30

注: 地点是同心县王团公社王团大队。

盐和脱盐的规律, 这一点我们将在以后论述。

## 二、土壤质地对土壤水盐运动的影响

水盐在土壤中的运行与分布, 同土壤质地有密切关系。

(一) 粘土: 同心县王团北滩 400 厘米多深的粘土剖面(图 1), 不论旱地及七年灌溉地的水盐含量, 沿土壤剖面愈向深层逐步增大, 直至 300 厘米处达到最大, 剖面中约 3 米厚度的粘质土层(包括重壤及粘土层), 土壤紧实, 容重为 1.38 克/厘米<sup>3</sup>, 心土层(70—80 厘

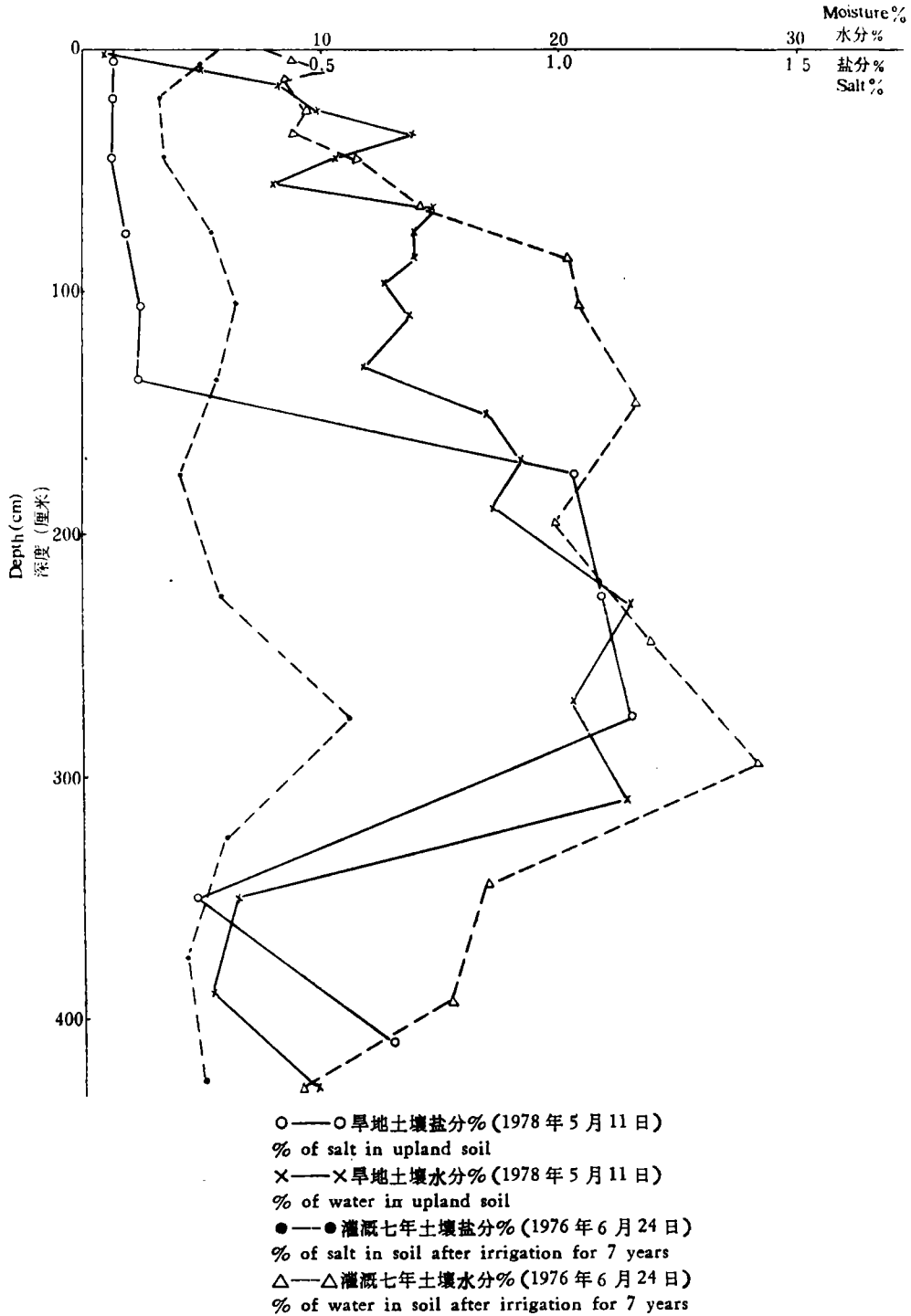


图1 灌溉粘质灰钙土剖面水盐分布状况(宁夏同心县王团北滩)

Fig. 1 The water and salt distribution in the profile of irrigated clayey sierozem

米处)四小时末的渗透系数  $K_{10}$  值为 0.11 毫米/分, 透水性较弱。粘质土层(灌溉地)水分为 20% 左右, 盐分为 0.20—0.32%, 其中在 250—300 厘米处水分达到最大, 为 23—28%, 该

值略高于田间持水量(23—25%),土壤盐分含量高达 0.56%。旱地土壤水盐测定结果,粘质土层水分为 14—18%,剖面 1.5 米以上含盐量为 0.04—0.12%,其中在 200—300 厘米处水分达到最大为 21—23%,土壤盐分亦最大为 1.03—1.15%。由此不难设想:200—300

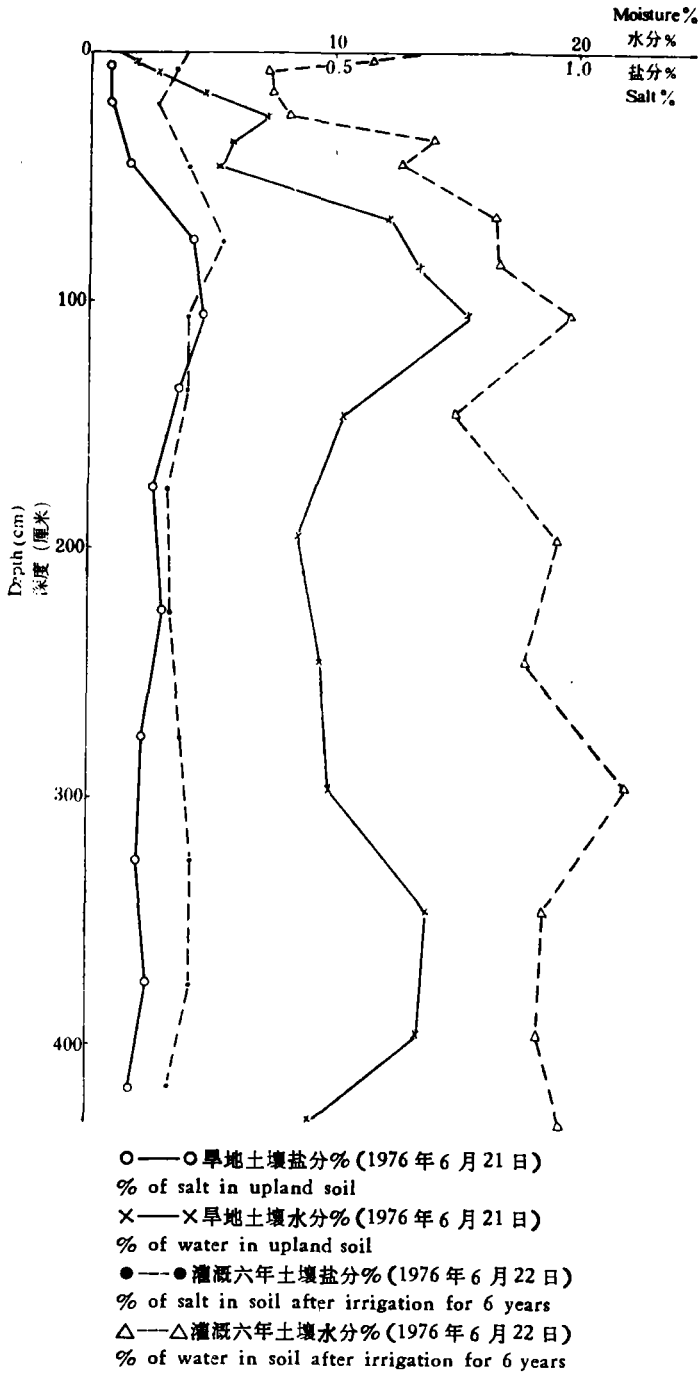


图2 灌溉轻壤质灰钙土剖面水盐分布状况(宁夏同心县王团南堡子)  
 Fig. 2 The water and salt distribution in the profile of irrigated light loamy sierozem

厘米处,不论旱地及灌溉地都曾经是水盐聚积之处。A. A. Pоде指出“草原及半荒漠地带水分多是非渗润型,其特点是在土壤剖面下缘深度约1—3米,很少到4米处,有一永久干土层。在土壤剖面上,石膏和易溶盐类的聚积常是这一层的标志<sup>[2]</sup>。同心县王团北滩灌溉地盐分,阴阳离子含量,在2.5—3.0米深度内,每100克土中 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量最高为7.44毫克当量, $\text{Ca}^{++}$ 及 $\text{Mg}^{++}$ 为5.64毫克当量;旱地每100克土中,最高含量为16.0毫克当量, $\text{Ca}^{++}$ 及 $\text{Mg}^{++}$ 为15.0毫克当量(图4)。粘土层2.0—3.0米处 $\text{SO}_4^{2-}$ 及 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 离子均有富积现象,说明有石膏存在。这表明灌溉水向更深处移动的机会较少。但是粘质土在灌溉初期比较好,一是省水,相对带人盐量较少;二是保水、保肥,缺点是水分不易向深处排走,经过长期灌溉势必积累大量盐分,导致土壤盐渍化加剧,给治理带来很大困难,从长远看来不宜选作苦水灌溉地块。

(二)轻壤土:和上述粘土比较起来,水盐沿剖面分布比较均匀(图2),六年灌溉地心土层(50—60厘米)以下水分为13—19%,盐分为0.16—0.21%;旱地心土层以下水分为9—15%,60厘米以上土层的盐分小于0.08%,以下为0.10—0.23%。轻壤土剖面比较疏松,灌溉地120—130厘米处为中壤,疏松多孔,容重为1.18克/厘米<sup>3</sup>,四小时末的渗透系数 $K_{10}$ 为0.21毫米/分,较上述粘质土层渗透性能良好。同时灌溉地水盐沿剖面分布较早地均匀,深度增大,灌溉地水盐运移超过4.0米深度。同为七年的灌溉地块,轻壤土60厘米以下1977年7—8月测定含盐量为0.20—0.28%(平均0.24%),而粘质土60厘米以下1976年7—8月含盐量为0.30—0.50(平均0.40%)两种质地剖面相比较,水盐含量差别明显。在当地地下水位超过二、三十米的情况下,虽然轻壤土不保水、不保肥,灌溉时费水,然因内排水性能较好,有利于表土层盐分的淋溶,因此,作为苦水灌溉的地块较粘质土为宜。

### 三、土壤的水盐状况及积盐脱盐规律

土壤的水盐运动规律,主要取决于气候因子即温度、降雨量、蒸发量等季节变化<sup>[1]</sup>。据统计宁夏南部的同心县年平均蒸发量为2272.6毫米(1971—1978年),年平均温度8.5℃,年平均降水量258.5毫米,7,8,9月为雨季,其降雨量占全年降水约60%<sup>[1]</sup>。由于年降水量少,土壤盐分淋溶的深度有限,故旱地土壤在其底层形成积盐层。灌溉地除了在降雨及灌水时土壤盐分淋溶下移之外,一般盐分表聚作用较强,我们按本区土壤一年中积盐及脱盐规律将它分为四个时期:

(一)强烈积盐期:每年2月下旬至5月上旬,因蒸发逐渐增强以及气温、地温逐渐上升,土壤逐渐解冻(图3),灌溉土壤下部所保持的水分沿毛细管强烈上升,致使土壤表层积累大量盐分,故为积盐期。就表层而言,灌溉一年及六年的轻壤土,1976年5月9日灌前测定含盐量为0.61%和0.66%,1977年2月24日测定灌溉二年及七年土壤含盐量为0.76%和0.78%。灌溉七年的粘土1976年5月9日灌前测定含盐量为0.34%(表2)。所有表层盐分均较其下各层高约二至五倍。表明这个时期为土壤积盐期。这样大量的

1) 宁夏同心县气象站1969—1978年气象观测资料。

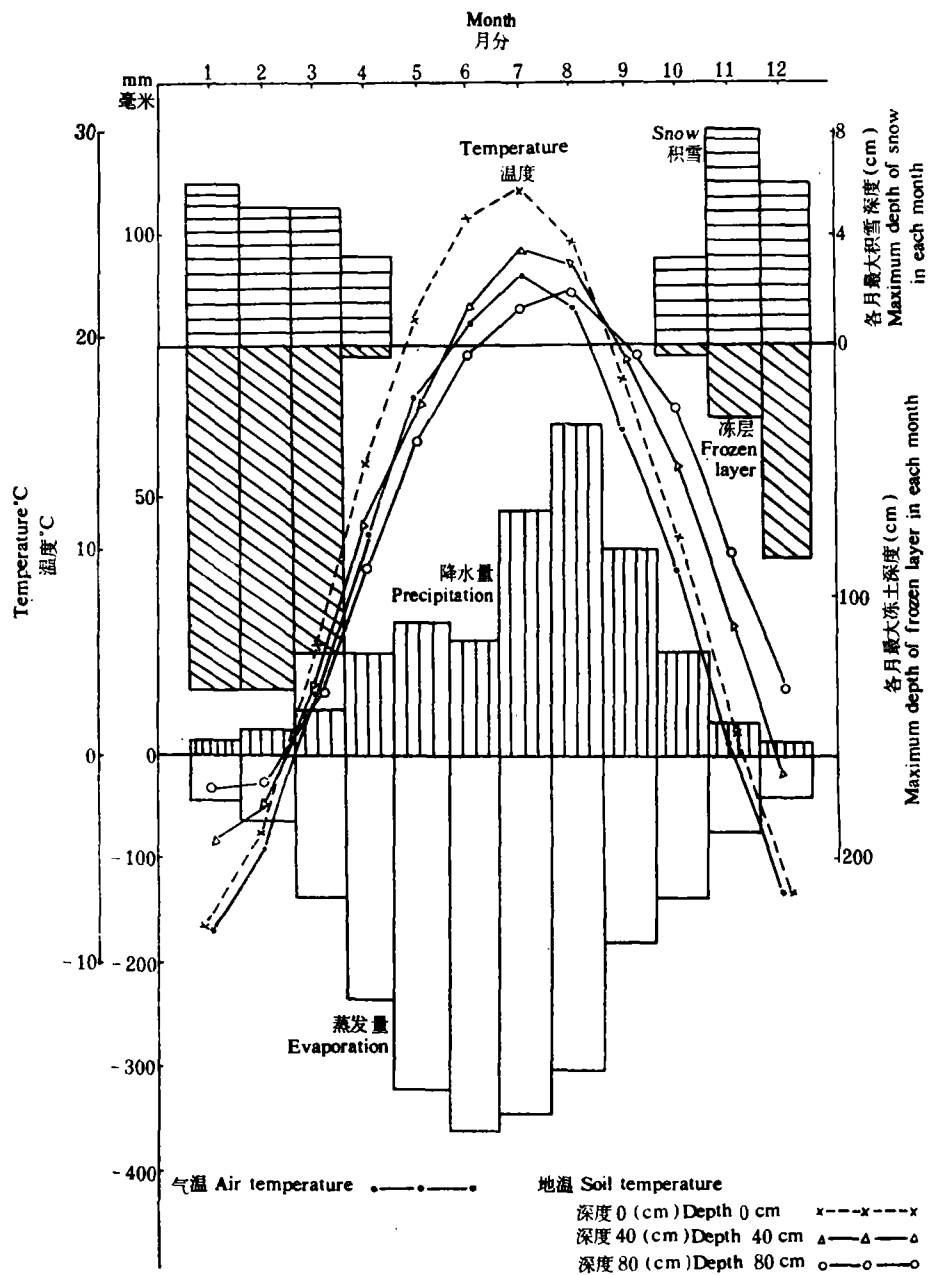


图3 宁夏南部灰钙土区(同心县)气象指标年变化

Fig. 3 Yearly meteorological variation in sierozem area of south part of Ningxia Province

盐分积累,必然危害作物幼苗生长发育,此即是灌水技术上要求头水要“饱”的主要原因。

(二) 灌溉脱盐期: 每年5月上旬至6月,正值春作物拔节抽穗时期,气温、地温增高,蒸发达到一年中最高峰(图3),土壤中盐多水少,远不能适应作物生长发育的要求。此时,积盐势必较前更甚,又值春旱,迫切需要灌溉。灌后形成脱盐和积盐交错的情况,灌溉脱盐后约7—10天盐分又积聚表层,故必须接连灌溉洗盐。如经灌溉一、二年的轻壤

土地块，0—10 厘米土壤含盐量 1976 年 5 月 9 日灌前测定为 0.61%，由于 5—6 月连续灌溉而盐分下降为 0.29%；1977 年 2 月 24 日灌前测定为 0.76%，5—6 月连续灌溉降为 0.22%（表 2）。脱盐效果分别为 53% 及 72%。又如灌溉六、七年的土壤在相同情况下，测定脱盐效果分别为 63% 及 75%。而灌溉七年的粘质土表层脱盐效果仅为 35%。这些情况说明，轻壤土由于渗透性良好，脱盐效果好，粘土渗透性差，脱盐效果不好。但总的情况则是脱盐势力占优势，故我们将此时期称为灌溉脱盐期。

（三）自然脱盐期：每年 7，8，9 月系雨季，气温、土温达到全年最高值，蒸发量亦高（图 3）。春种作物 7 月中旬收获，6 月底以后即行停灌。进入雨季后，土壤在前期灌溉脱盐的基础上又得到降雨的进一步淋洗，使得土壤盐分更为降低，如表 2 中灌溉一、二年的轻壤土地块，60 厘米以上土壤含盐量 1976 年 5—6 月灌溉期含盐量为 0.20—0.29%，雨季 7—8 月测定为 0.09—0.19%。粘质土地块亦有相同情况。但在土壤上部脱盐的同时，其底层的含盐量不仅较灌溉时期，而且较灌溉前都显著增高。

（四）缓慢积盐期：每年 10 月至翌年 1，2 月降水量稀少，蒸发量显著下降，气温、土温（图 3）亦显著下降，直至 12 月、1 月达到最低，土壤于 10 月份出现冻层，直至 1，2 月冻层深达 87—135 厘米。12 月至 2 月中旬前后，天寒地冻，气温降到 -4.5— -8.2℃（10 年平均值），土壤温度从表层直至 40 厘米深处降到 -1— -8.0℃，12 月直至 1，2 月降水

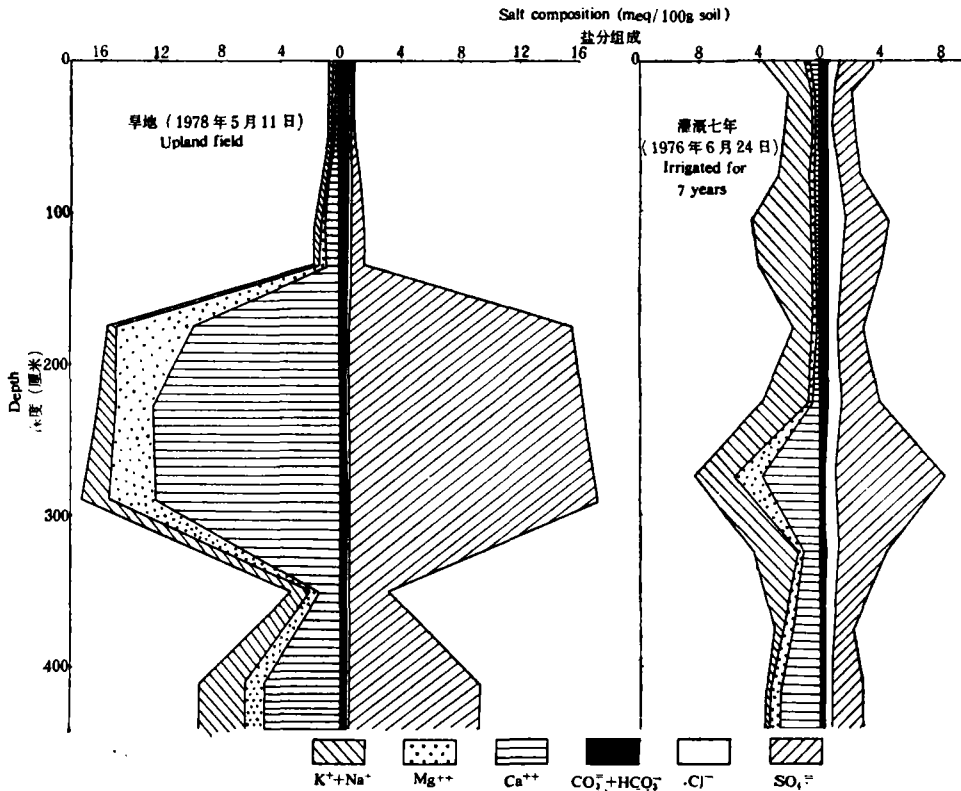


图 4 粘质灰钙土盐分组成(宁夏同心县王团北滩)

Fig. 4 Salt composition of clayey sierozem



主要以雪的形式出现,故上层土壤中液态水运动近乎停止,气态水运动仍在进行,因此依赖液态水而运动的土壤盐分也极为微弱,故我们将该时称为缓慢积盐期。

#### 四、结 语

本文主要讨论底层盐化灰钙土地区,利用苦水灌溉,水盐运行的相互关系及四季气候变化和灌溉对土壤积盐和脱盐的影响,从而提出了发育于黄土母质上的轻壤质灰钙土,土壤水分运动的下限值为 10% (干土重),土壤含水量大于 10% 时,盐分就随之运动,小于 10% 时则不行。所有的灌溉地土壤水分,均超过下限值 10%,一般为 13—20%,多数为 20% 左右,因此灌溉土壤中的水盐运动及变化较之旱地土壤强烈。灌溉土壤发生次生盐渍化的原因,一是苦水灌溉带来的盐分的累积;二是灌溉入渗水将累积于底土中的盐分溶解并向表层重新累积,而且在次生盐渍化的初期,后者的作用更大些。根据对轻壤土及粘土剖面中水盐运动特点的研究,认为轻壤土因其透水性较强,水盐可渗到 4 米或更深处,故较宜于作为苦水灌溉的选择地块,而粘土由于透水性差,有碍于水盐向深层移动,故不宜作为长期苦水灌溉的选择地块。

为了有利于发展苦水灌溉,根据气候特征及土壤的积盐和脱盐规律,划分出土壤的积盐期、灌溉脱盐期、自然脱盐期及缓慢积盐期。

#### 参 考 文 献

- [1] 中国农业科学院农田灌溉研究所编,1977: 黄淮海平原盐碱地改良。3—6 页,中国农业出版社。
- [2] 罗杰 A. A. 著(傅作钧等译 1965): 土壤水分状况的研究方法。204—205 页,中国工业出版社。
- [3] Worthington, E. B., 1977: Arid Land Irrigation in Developing Countries: Environmental problems and effects. pp. 224—225, N. Y. Pergamon Press.
- [4] Роде, А.А. 1952: Почвенная влага Изд-во СТР 339, АН. СССР. М.-Л.

## PRELIMINARY STUDY ON THE DYNAMICAL REGIME OF WATER AND SALT IN THE IRRIGATED SIEROZEM

Tian Ji-ying, Huang Yi-duan and Mi Deng-shan

(*The Northwestern Institute of Water and Soil Conservation, Academia Sinica*)

### Summary

This paper deals with the problem of secondary salinization of soils caused by irrigation with bitter water in the arid and semiarid regions of southern Ningxia. Sierozem is widely distributed in this region. For development of agricultural production, it is necessary to irrigate with bitter water due to lack of the fresh water in this region. After irrigation with bitter water containing a large amount of soluble salts, the soil secondary salinization occurred immediately by which the crop yield was affected. Some conclusions obtained from the study on the dynamic regime of water and salt in soils irrigated by bitter water are summarized as follows:

1. It was observed that the lower limit of soil moisture for the water movement in light loamy soil was about 10% (by dry weight). If the soil water content was above 10%, it could dissolve the salts and carry the salts to move up and down in the soil profile. If the soil water content was below 10%, it could not dissolve the salts.

2. From the view point of long term irrigation with bitter water, the light loamy soil with good filtration and high permeability is suitable to be used for irrigation with this water, although it has low retention capacity of water and nutrients. Under the condition of the ground water level more than 20—30 m in this region, the irrigation can leach the harmful salts downward from the upper soil, which will be beneficial to improve the saline soils.

On clay soil, irrigation with bitter water is more successful in the initial stage due to economy of irrigation water. However, owing to the poor permeability of the clay soil, long term irrigation with bitter water inevitably brings about accumulation of salts in soil and hence severe secondary salinization of the soil. Therefore, the area of clay soil is not suitable to be used for irrigation with bitter water.

3. It was proved that the secondary salinization of the soils irrigated with bitter water in the initial stage was mainly caused by the salts brought up by the capillary water from the subsoil containing a large amount of salts, while the salt carried by irrigation water was insignificant on the secondary salinization of the soil.

4. The movement of water-salt in the soil mainly depends upon the seasonal variation of climatic factors such as temperature, rainfall, evaporation, etc. According to the annual variation of salinization and desalinization in soil, it is divided into four periods in a year: (1) period of violent salinization, (2) period of desalinization caused by irrigation, (3) period of the natural desalinization and (4) period of slow accumulation of salt.