

利用放射性 I^{131} 和 S^{35} 研究松沙土土体和地下水盐分的运动

贾大林 傅正泉

(中国农业科学院农田灌溉研究所)

盐碱土表土盐分积累的来源,不仅与地下水埋深及其矿化度有关,而且与土体盐分再分配有关。本试验是利用放射性 I^{131} (NaI^{131}) 和 S^{35} ($Na_2S^{35}O_4$) 的示踪方法,探讨在含盐地下水正常补给情况下,土体和地下水盐分运行的一些规律,有助于全面了解表土积盐的过程。

一、试验材料与方法

试验材料为松沙土,其性质如表1。试验方法:首先按土壤含盐量为0.5%计算,将定量的碘化钠溶于放射性 I^{131} (NaI^{131}) 溶液中,以该溶液徐徐倾入称重的沙土内,拌均匀后,置于通风柜焙干(或风干),制成含放射性碘的沙样。根据试验要求,把沙样均匀装入

表1 松沙土的水物理特性

机械组成 (%)					比重	容重 (克/厘米 ³)	孔隙率 (%)	饱和含水量 (%)	最小持水量 (%)	自然吸湿量 (%)
0.25—0.05 (毫米)	0.05—0.01 (毫米)	0.01—0.005 (毫米)	0.005—0.001 (毫米)	<0.001 (毫米)						
97.15	1.82	0	0	1.03	2.68	1.65	38.1	22.8	5.5	0.7

直径为一厘米的玻璃管内,保持容重一致,制成不同高度的供试沙柱。地下水为含硫酸钠的放射性溶液($Na_2S^{35}O_4$),并加稳定性硫酸钠使其矿化度控制在5克/升,将其注入溶液补给器内,利用马立奥瓶控制沙柱中的水位,测量方法采用一组四个定标器和钟罩型计数管同时观测数点,因 S^{35} 是一 β 弱源,其放射线能量小,可被玻璃管吸收,而 I^{131} 为 γ 射线源,其放射线可穿透玻璃管被仪器探知,故而所测量的记数只是 I^{131} 的相对放射性强度,其记数变化即可显示在地下水补给情况下,土体盐分运行的状况,试验装置如图1。

试验开始后记录时间和毛管水上升高度,并按要求测量土体盐分变化,待毛管水上升稳定后,连续强烈蒸发19天,每天蒸发10小时,其后测量一次土体盐分的变化,待整个试验过程完毕后,拆其装置,分层取土,制成测量样本,置于铅室内,用加铝片直接吸收法分别测出沙柱各部位的放射性 I^{131} 和 S^{35} 的相对含量,借此观察土体盐分运行及来自地下水的盐分分布结果。

试验用了60厘米及80厘米两种地下水埋深处理,每种处理均作重复。

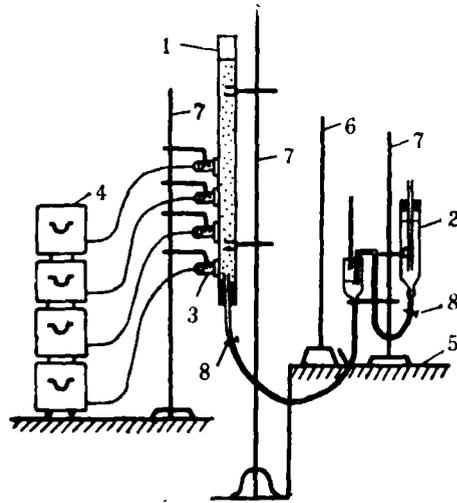


图1 试验装置

- 1 含 ^{131}I 沙柱 2 S^{35} 溶液补给器 3 钟罩记数管
 4 定标器组 5 磁盘 6 铅玻璃屏风 7 试架 8 铅丝开关

二、结果分析

(一) 在毛管水活动范围内土体盐分变化过程

1. 毛管水上升运行对土体盐分的影响。当地下水埋深只 60 厘米时, 整个沙柱完全处于毛管水活动范围之内, 毛管水上升过程中土体盐分发生变化, 其测量结果绘制成图 2,

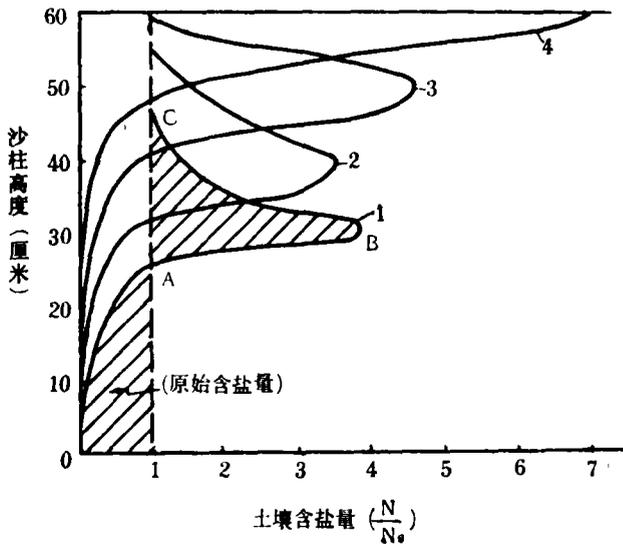


图2 毛管水作用下土体盐分上升聚积过程

注: N_0 ——放射性原始强度; N ——测得的放射性强度(下同)

图中土壤含盐量以相对浓度 $\left(\frac{N}{N_0}\right)$ 表示, 虚线为土壤原始含盐量, 是均匀分布在土中的, 1—4 线分别表示当毛管水上升至 30、40、50 和 60 厘米高度时土体盐分变化状况。由图 2 可以看出: 土体盐分在毛管水上升作用下, 由下层迅速向上层移动聚积, 并且在毛管水上升的前锋处达到最大值, 这是由于地下水在土壤毛管力的作用之下进入土体, 迅速溶解了土中的碘化钠, 并将其携带继续上升, 其变化可分两区三段, 现以 1 线为例: 1 线是当毛管水上升至 30 厘米时土体盐分的垂直分布, 第一区 0—A 线段为脱盐区, 土壤含盐量小于原始含盐量, 这是土体盐分迅速溶解于毛管水, 并随之上升的结果, 越接近地下水脱盐率越高。第二区 A—C 线段为土壤盐分聚积区, 土壤盐分的增加量即为 0—A 区土壤盐分的减少量, 即图 2 中两暗影面积基本上相等。该区按土壤盐分变化不同, 可分 A—B 和 B—C 两层, B—C 层土壤盐分的聚积, 随着沙柱高度的增加而迅速减少到原始含盐量, 它是处在毛管水上升高度上限的上层, 该积盐层的含盐量受 A—B 层土壤溶液浓度的影响, 当地下水继续受毛管力的作用向上运行而达表土时, 土壤全剖面处于毛管湿润状态, 土体盐分聚积表面, A—C 层就消失。

图中还可显示出 A—B 层土壤含盐量随着毛管水向上运行的历程增加而迅速增加, 即说明当土壤溶液浓度还未达到饱和时(指 NaI 而言)。在上升中仍可继续溶解所“途经”的土壤盐分, 并一起向上移动, 该积盐层的厚度随毛管水上升高度增加而增厚, 土壤溶液浓度亦随之而增大(表 2)。

表 2 积盐层厚度与毛管水上升高度的关系

毛管水上升高度(厘米)	30	40	50	60
积盐层厚度(厘米)	5	8	9.9	12.5
最大土壤含盐量 (N/N_0)	3.9	3.55	4.62	6.95

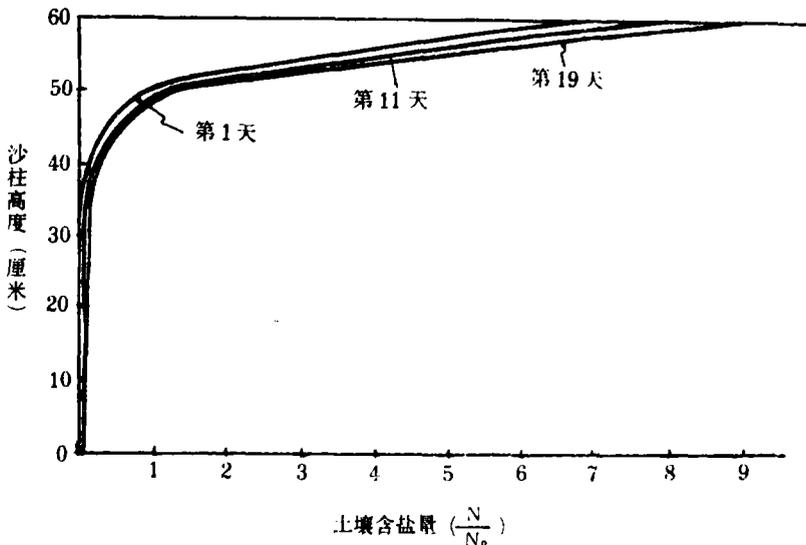


图 3 蒸发条件下土体盐分的变化

(地下水埋深 $h = 60$ 厘米)

2. 蒸发对土体盐分运行的影响。在毛管水达到土表后,用电热丝在沙柱表面加热进行每日 10 小时的蒸发,并测量土体盐分的变化情况。蒸发 1 天后,表土盐分相对含量为 6.9,继续蒸发至 11 天及 19 天后,其相对含盐量就分别增为 8 和 8.8 (图 3)。

土壤中的盐分向表土聚积,主要受土壤水分蒸发影响,但还有其自身的扩散作用。土壤水分蒸发,盐分也随之移动,可是盐分是否能与水分一并上移,视土壤水分形态而定。在为毛管水形态时,表土积盐速度和积盐量则取决于水分蒸发速度。上述结果说明,在蒸发和地下水正常补给条件下,土体盐分不断上升,向表土聚积,聚积的强度随蒸发强度而增加。如土壤水分为汽态运动时,则盐分将残留在原处,不随之上移。

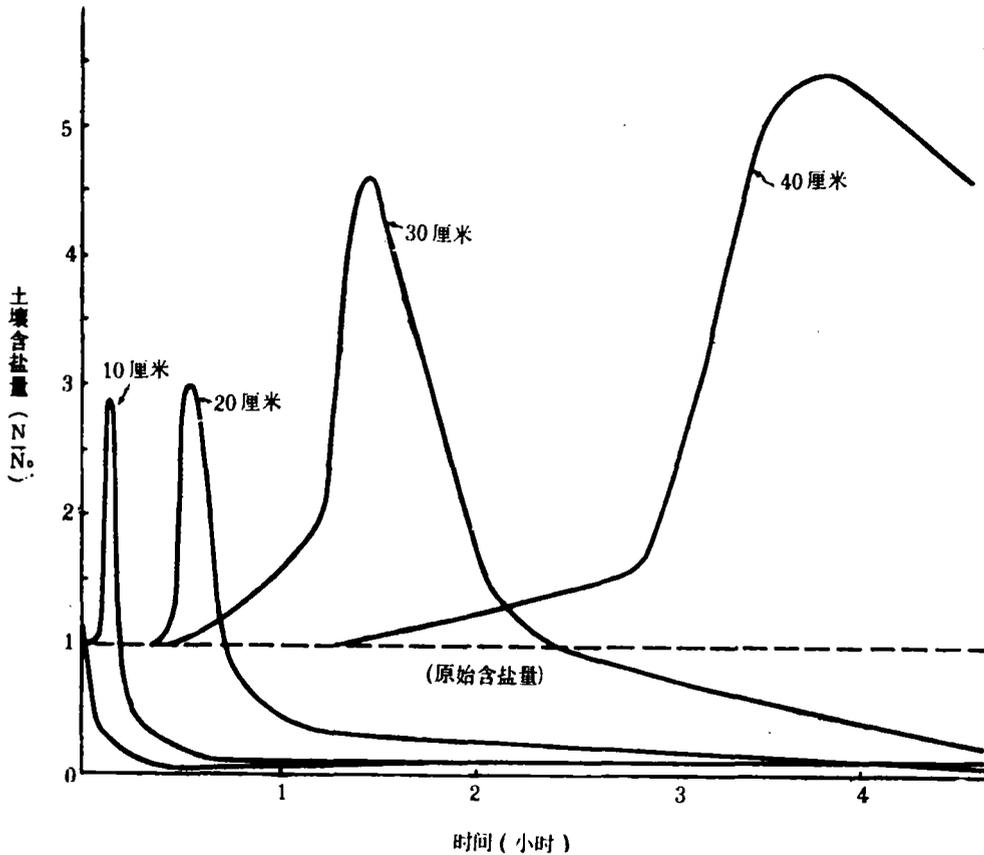


图 4 毛管水上升土体盐分变化过程

3. 土体盐分随时间的变化。在毛管水上升过程中,引起沙柱中不同部位的土体盐分随时间而变化,其变化过程有积盐和脱盐两个阶段,但盐分聚积阶段历时短而强度大,脱盐阶段则历时较长而缓慢。这种变化在沙柱不同部位又有很大的差异。从图 4 中可见,越接近地下水,积盐和脱盐历时越短,如离地下水面 10 厘米部位,土体盐分变化历时仅为 10 分钟,具有暴增暴落的特点,而在 30 厘米处,积盐和脱盐历时长达 120 分钟,随着高度的增加,盐分的变化迅速变缓,这是毛管水上升速度随着高度增加而迅速降低的结果。土体盐分变化过程说明毛管水前锋溶解了大量土体盐分,增加了土壤溶液浓度向上运行,并在运行过程继续溶解土体盐分。

(二) 毛管水活动范围外的土体盐分变化过程

当地下水埋深达 80 厘米, 土柱高度超过毛管水活动范围, 表土未发现有盐分的聚积(图 5), 而下面的盐分聚积过程则与图 2 所示的性状基本一致, 而最后积盐层出现在 60 至 65 厘米, 这说明积盐层出现部位决定于毛管水上升高度, 此积盐层在蒸发作用下继续向表面移动, 但强度很弱, 蒸发历时 19 天, 积盐层上移 5 厘米(图 6)。这种现象是毛管水达不到表面, 是土壤水分处于薄膜毛管水湿润状态所引起的。

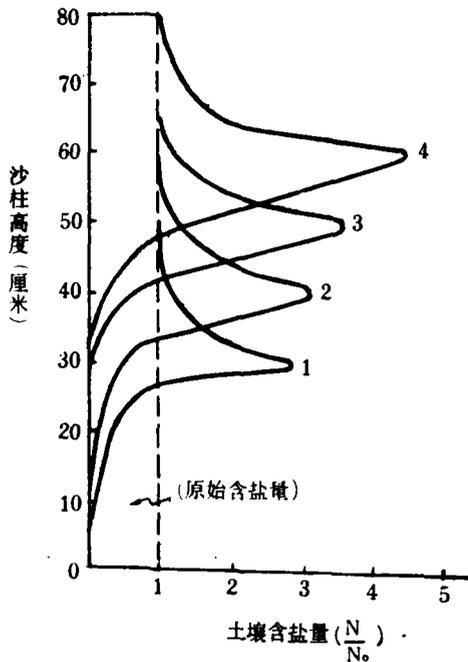


图 5 毛管水作用下土体盐分上升聚积过程
(地下水埋深 $h = 80$ 厘米; 1—4 线分别表示当毛管水上升至 30、40、50、60 厘米高度时土体盐分变化状况。)

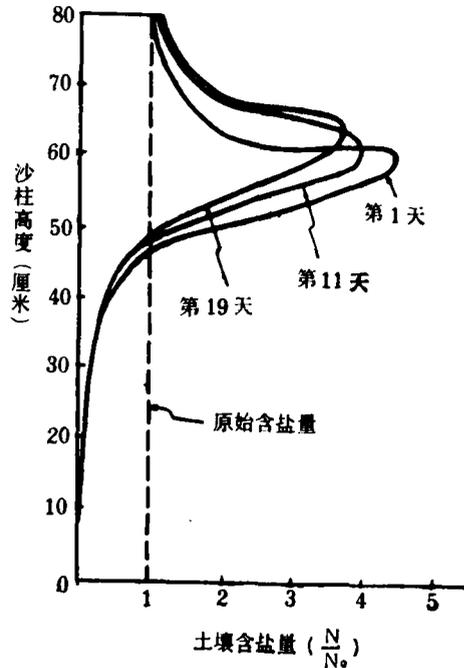


图 6 蒸发条件下土体盐分变化

表土积盐与水分蒸发有关, 但与地下水埋深关系更大, 而土体水分的分布状况, 则直接与距地下水位的距离有关, 沙柱 60 厘米以上水分含量极小, 在强烈蒸发条件下, 表土很快干燥, 蒸发速度降低, 蒸发量减少, 盐分向表土聚积强度比在毛管水活动范围内的显著减弱。如图 6 所示, 蒸发至 11 天以后, 再继续蒸发, 土壤盐分的变化不大。在生产实践中, 雨后中耕, 使表土疏松, 切断毛细管, 造成干土覆盖层, 对防止返盐有显著作用。在毛管水活动范围外, 土体盐分运行的特点是, 积盐层出现部位与毛管水上升高度相吻合, 蒸发将使其继续而缓慢地向表土移动。

(三) 土体和地下水盐分的运动

蒸发试验历时 20 天, 取土分别测定沙柱不同部位放射性 I^{131} 和 S^{35} 的相对强度(图 7)。从图 7 中 I^{131} 的含量(用干土重 % 表示)分布情况, 可看出盐分大量积聚的部位是在 50 至 60 厘米, 并愈接近地表盐分含量越大, 经过 20 天蒸发后, 表土含盐量增至 4.4%, 为原始含盐量(0.5%)的 8.8 倍。 S^{35} 含量的分布(以记数率表示), 和土壤水分分布相同。地

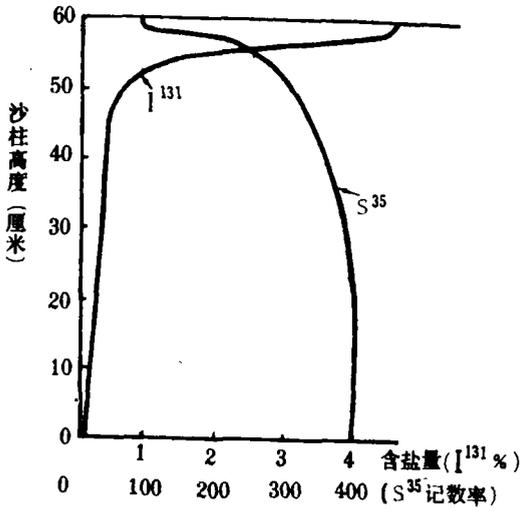


图7 土体和地下水盐分的分布
(地下水埋深 $h = 60$ 厘米)

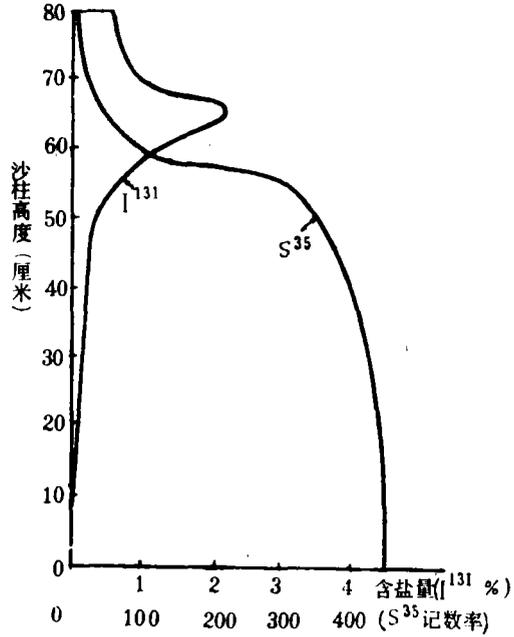


图8 土体和地下水盐分的分布
(地下水埋深 $h = 80$ 厘米)

下水中的盐分主要分布在下层, 表土盐分积聚很少。图8为地下水埋深80厘米的沙柱, 测量 I^{131} 与 S^{35} 含量的结果, S^{35} 的分布与土壤水分状态相同, 表土无盐分积聚现象, 而土体盐分 I^{131} 的分布, 在65厘米处形成积盐层, 含盐量为原始含盐量的4倍。试验说明: 在蒸

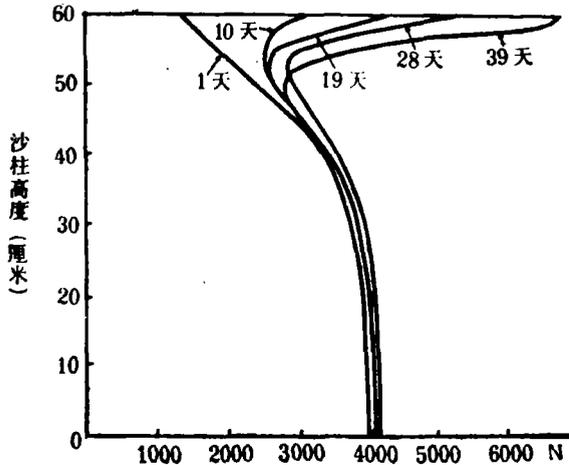


图9 蒸发条件下地下水盐分分布
(地下水埋深 $h = 60$ 厘米; 地下水矿化度 10 克/升; NaI^{131})

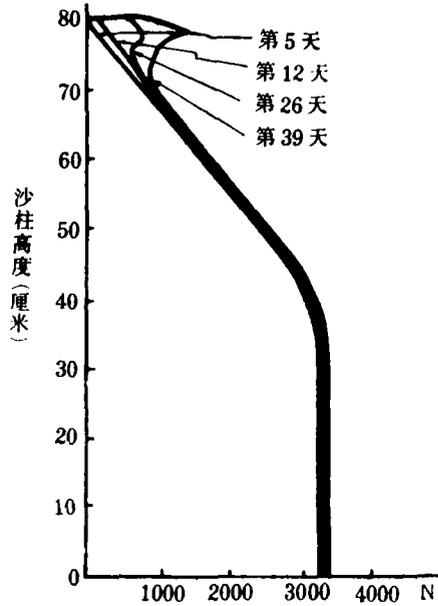


图10 蒸发条件下地下水盐分分布
(地下水埋深 $h = 80$ 厘米; 地下水矿化度 10 克/升; NaI^{131})

发和地下水正常补给条件下, 土体盐分随毛管水上升, 在毛管水活动范围内的, 盐分在表土积聚; 在毛管水活动范围外的, 在毛管水上升高度处形成积盐层, 地下水中的盐分随土壤毛管水上升, 其分布似土壤水分布, 参与表土积盐缓慢; 在矿化度高和持续蒸发下, 也可形成表土积盐, 其厚度在 10 厘米左右, 以下盐分变化很小(图 9)。在毛管水活动范围外时, 也可形成积盐层(图 10)。

三、问题讨论

(一) 从土壤盐分运动谈土壤盐分垂直分布

1. 盐碱土土体盐分垂直分布多呈上重下轻现象, 尤其是在弱矿化水地区, 花碱土和次生盐碱土上重下轻更为突出, 一般剖面形状为丁字形, 通过土体和地下水盐分在地下水正常补给下运动的全过程的试验, 可以说明这一现象。

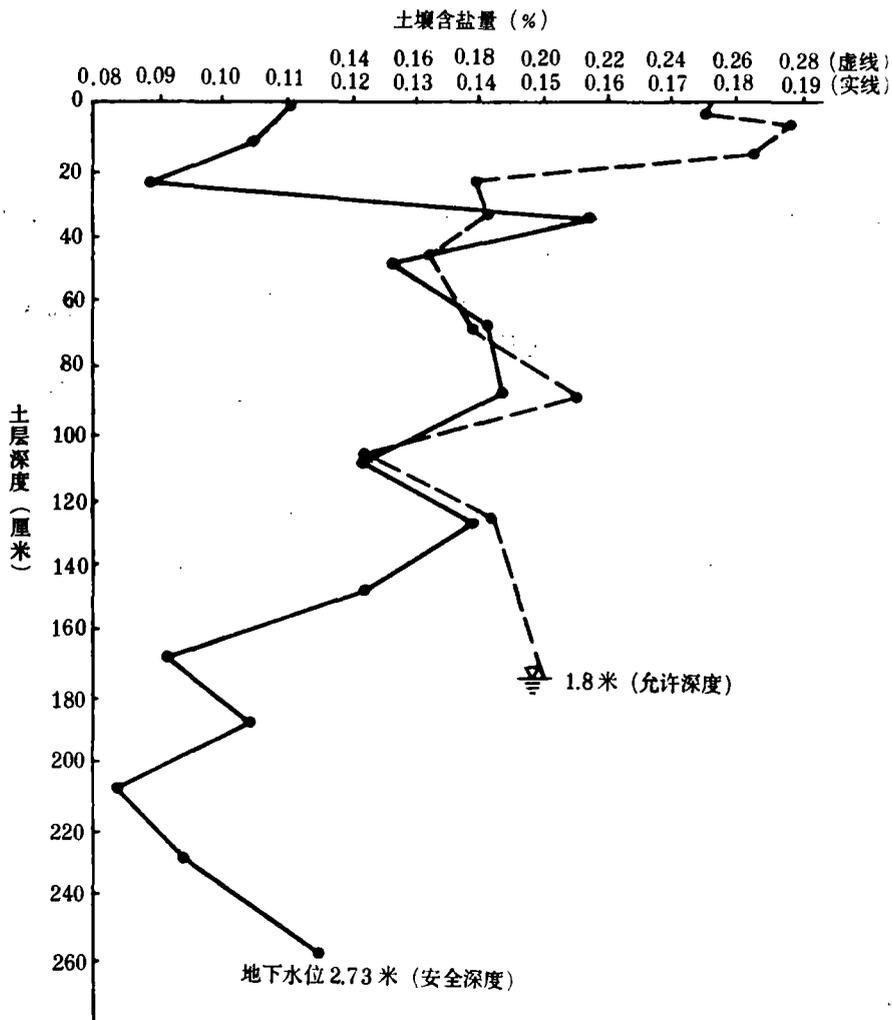


图 11 地下水安全和允许深度下土壤盐分的分布

一般土壤都含有可溶性盐分,当地下水位升高,使土壤水分处于毛管水活动范围以内时,随着毛管水上升,将土体盐分托上的过程中,任一土层,都有积盐和脱盐的过程,直到盐分积盐于地表(如图 2)。表土积盐层的厚度,与土壤质地、土体盐分、地下水矿化度和埋深等因素有关,次生盐碱土,土体盐分轻,地下水矿化度低,积盐层就很薄,底土盐分很轻,呈丁字形分布。

2. 当地下水位较低,土壤水分处于毛管水活动范围以外时,土体盐分被毛管水托上,但达不到地表,而在毛管水上升高度处形成积盐层。在野外地下水埋深处于安全深度或允许深度时,常出现这种现象(图 11)。当地下水位上升,或下小雨匀盐,都可使该积盐层上移,形成表土积盐。另外,由于降水或灌溉也可使积盐层消失。

3. 在高矿化水地区,地下水中的盐分运动随毛管水分布于土壤剖面,盐分的分布多是下重上轻,随蒸发增强,地下水中盐分逐渐参与盐分的积累,而底土盐分变化很小(如图 9)。

(二) 从土壤盐分运动谈改良盐碱地的综合措施

1. 试验结果说明,土体盐分和地下水中盐分对表土积盐和地下水埋深都具有十分重要的关系,只要地下水水位下降到毛管水活动范围以外,土体和地下水中的盐分都难以使地表积盐,因此降低地下水水位在临界深度以下,是改良盐碱地的关键措施,对地下水临界深度的概念不应忽视。

2. 试验结果说明,土体盐分运动对表土积盐关系密切,因此对于盐碱土改良仅把地下水控制在临界深度以下,土体盐分仍可能形成积盐层,在持续蒸发,小雨匀盐和盐分扩散的作用下还可能使表土积盐,因此,需要在排水的基础上,采用冲洗、灌溉和抽咸换淡等措施,使土体脱盐和地下水淡化,才能从根本上改良盐碱土。

为了有利于灌、排措施效益的发挥和田面土壤盐分的均匀分布,不集中成为盐斑,必须进行平整土地,平地也是改良盐碱土地的关键措施。

3. 试验说明,土体和地下水盐分向表土积盐的强度和蒸发强度成正相关。土体盐分重新分配和土壤蒸发也有密切关系。因此,减少表土盐分的累积,也应从减少土壤蒸发着手。减少土壤蒸发最根本的方法,就是增施有机肥料,增加土壤有机质,改良土壤结构。另外是加强耕作措施,犁耙、锄地松土等都对减少土壤蒸发有利。

从土体和地下水盐分的运动说明改良盐碱地需要采用排、灌、平、肥综合措施。

INVESTIGATION ON THE MOVEMENT OF SOLUBLE SALTS IN SOIL COLUMNS BY RADIOISOTOPIC METHOD

Jia Da-lin and Fu Zheng-quan

(Institute of Agricultural Irrigation, Chinese Academy of Agricultural Science, Xinxiang)

Summary

Columns of loosely packed sandy soil of different heights were used in present investigation. The salt movement in the soil columns was simulated with labelled NaI^{131} . The columns were placed in a salt solution of labelled $\text{Na}_2\text{S}^{35}\text{O}_4$ (5 gm/l) simulating the ground water. The soil was exposed to evaporation. The movement of soluble salts in soil and solution were studied by radioisotopic method. Results obtained are summarized as follows:

1) The content of soluble salts in soil phase rised with the capillary water during evaporation from soil surface. A higher concentration of salts appeared in the front of the capillary water. The thickness of salts concentrated layer increased following the continuous evaporation of soil water, and finally a layer of salt accumulation was formed in the surface soil.

2) The soluble salts contained in water phase also moved upwards with the rising of capillary water. The rate of its movement, however, was lower than soil salts. But the continuous rise of capillary water also induced the sulphate salts accumulation in the surface of the soil column.

3) According to the results mentioned above, it is concluded that lowering the ground water level below the critical depth is an effective measurement for the improvement of the saline soil. At the same time, it must be considered to incorporate with other practices such as leaching of salts by irrigation, leveling of the land and increase of the application of organic manure in the soils.