

# 細砂質紧砂土水盐上升运行的初步研究\*

夏家淇 汪仁真  
(中国科学院土壤研究所)

土壤水盐运行规律的研究,特别是水盐上升运行,对于防治土壤盐渍化具有极重要的意义。土壤水盐上升运行受到土壤的质地、结构、蒸发、地下水以及土壤湿度、温度和盐分浓度三种梯度的影响。华北平原的土壤不仅在质地上有水平分布和剖面层次的差异,而且土壤类型和盐渍化程度也各有不同,自然和人为因素也很复杂。因此土壤盐渍化的防治措施必须因地制宜,各种土壤的水盐运行规律可为防治措施提供理论依据。

## 一、試驗标本和研究方法

为便于摸索研究方法起见,我们先选毛管水上升高度低而速度快的紧砂土进行试验。标本采自山东济南洛口,系黄河沉积物,质地按卡庆斯基制<sup>[5]</sup>为細砂質紧砂土(表1)。

表1 細砂質紧砂土的 CaCO<sub>3</sub>、机械組成和水分常数\*

吸湿水 (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cl <sup>-</sup> (毫克当量/100克土)	机械組成 (毫米) (%)						水分常数 (%)			
			0.25   0.05	0.05   0.01	0.01   0.005	0.005   0.001	<0.001	<0.01	飽和含水量	最小持水量	最大分子持水量	最大吸湿量
0.8	6.0	0.072	68.2	25.8	0.7	3.3	2.0	6.0	31.9	11—13, 平均值 <sup>12</sup>	6.1	1.4

\* 机械組成系朱济成同志分析, CaCO<sub>3</sub> 系徐梦熊同志分析。

将通过 1 毫米篩孔的风干样品,装入內径 3.2 厘米左右的玻管中,其容重为 1.46。

毛管水上升高度和速度的测定:在玻管内分层装土,土柱高度为 135 厘米。将玻管管底沉于 0.0943N 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液中,其矿化度相当于 5.23 克/升。采用馬廖特(Марюгг)自动供水器<sup>[8]</sup>,使土柱底部維持固定的“地下”水面,并了解消耗水量的补给。在不同時間讀出土柱的水分上升高度和自动供水器中所耗損的水量。試驗未行重复。試驗结束后,将玻管鋸断分层测定含水量(烘箱法)和含 Cl<sup>-</sup> 量(硝酸汞法)。

受热(光照)蒸发下土壤水盐运行状况的研究:玻管内装土柱,柱高低于管端 1 厘米,在玻管外低于土柱 1 厘米处平套一硬石棉板,玻管底部維持固定的“地下”水面,装置自动供水器。土柱湿度达到均衡后,在玻管的上面,每日白昼用 250 瓦紅外綫灯泡照射 8 小时。分別在灯照前、灯照时和熄灯后不同時間讀出自动供水器耗損水量。在試驗结束后,鋸开玻管分层测定含水量、含 Cl<sup>-</sup> 量。此外,另装一土柱,插入溫度計,了解温度变化。在蒸发过程中,同时置放盛水玻管(水柱高 8 厘米、水面低于玻管頂端 1 厘米),以了解自由

\* 本文承熊毅先生斧正,特此志謝。

水面蒸發量。由於各個土柱受熱不是均勻一致的，在試驗前求出各土柱所在位置的自由水面蒸發量的相對百分數。根據相對百分數，將蒸發過程中盛水玻璃管的自由水面蒸發量換算為各個土柱所在位置的自由水面蒸發量。

## 二、結果和討論

### (一) 緊砂土中含鹽水上升運行的高度、速度和鹽分分布狀況

從圖 1 看出，含  $\text{CaCl}_2$  水從風干土柱底部的“地下”水面往上運行，經 136 天達 108.5 厘米高度；上升運行速度是逐漸減緩的，耗水量的補給也逐漸減少；136 天后土壤含水量是下部(50 厘米以下)多，而向上漸少， $\text{Cl}^-$  濃度則向上逐漸增大。

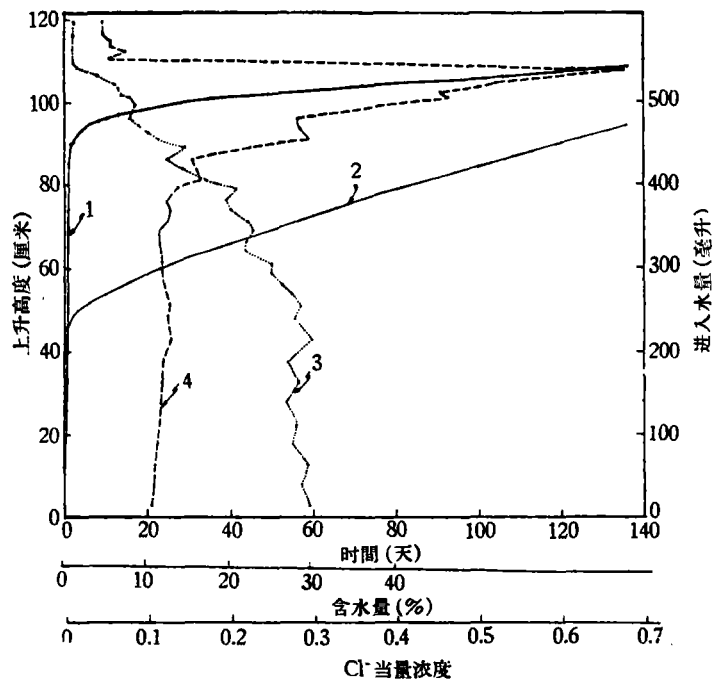


圖 1 風干緊砂土柱中氯化鈣溶液的上升高度、消耗水量和 136 天后水鹽分布狀況

1. 水分上升高度累積曲線(天—厘米)
2. 自動供水器消耗水量累積曲線(天—毫升)
3. 含水量分布曲線(厘米—%)
4.  $\text{Cl}^-$  濃度分布曲線(厘米—當量濃度)

根據供試土壤的水分常數(表 1)，可將含水量曲線劃分為 31.9—12%、12—6.1% 和 6.1—1.4% 三段，其相應的分布高度為 0—90、90—104 和 104—108.5 厘米。水分上升速度和自動供水器的耗水量在各段中是不相同的(表 2)。

A. A. Роде<sup>[2,3]</sup> 認為，地下水面以上的土壤含水量是向上逐漸降低，最後達最小持水量，由飽和含水量至最小持水量的這一段土層是地下水面以上的毛管水活動層。其中所含的水分是毛管支持水，與地下水有水压的聯系。當地下水面降低時，毛管水活動層在重力影響下向下移動。在本試驗中，毛管水活動層厚 90 厘米，水分上升速度和水流強度都是最大的(表 2)。

毛管水活動層之上為懸着水層(土柱的“地下”水面以上 90—104 厘米層)。在本文的

表 2 含  $\text{CaCl}_2$  水上升速度和消耗水分

高度 (厘米)	水分上升的 始终日期(天)	上升速度 (厘米/天)	自动供水器所消耗的水分*	
			总量(毫升)	强度(毫升/天)
0—90	0—2	45	245	122.6
90—104	2—70	0.2	135	2.0
104—108.5	70—136	0.07	91	1.4

\* 自动供水器消耗水量实际用于两个方面:(1) 土壤本身吸持,(2) 蒸发逸失。90 厘米以上,特别在 104 厘米以上,后种方式消耗水量相当可观,因此土壤本身吸持所引起的水流强度较表中所列的强度为小。

玻管试验中,水分上升到 90 厘米高度后,即在悬着水层中,仍继续上升,但是上升速度显著减缓,水流强度也变小,说明运行的机制和保持的形态都不同于其下的毛管水活动层。其水分的保持,除了靠分子吸力外,仍有毛管力的作用;但与“地下”水并无水压的联系。至于地下水以上 104—108.5 厘米高度范围内的水分可以认为是由分子吸力所保持;属薄膜水,靠土粒外水膜表面上的楔形压力梯度而运行<sup>[7]</sup>。上升速度非常缓慢,水流强度更小。本试验共经历 136 天,水分上升到 108.5 厘米高度,若继续试验,薄膜水仍可继续上升。在 108.5 厘米高度以上的土层中,由于液态水在上升运行的过程中水汽不断向风干土体扩散而使吸湿水量增大(一般风干土的吸湿量只 0.8%)。

从图 1 的  $\text{Cl}^-$  浓度曲线看出,氯化钙水在上升运行的过程中,因不断扩散水汽而浓缩,特别是在毛管水活动层(90 厘米范围)以上,水分运行缓慢,经历时间较长,盐类溶液浓缩更为强烈。一般认为溶液浓度增大会在一定程度上减缓水分上升运行的速度。为了解盐分浓度对水分运行速度的影响,我们曾用淡水(普通自来水,矿化度 0.12 克/升,含  $\text{Cl}^-$  0.12 毫克当量/升)作为对照试验(表 3),只经 24 天水分即上升到 110 厘米高度,其相应各段的水分上升速度要较含  $\text{CaCl}_2$  的水为快。无论是盐水或淡水,总的来说,毛管水活动层与其上面的土层相比,其水分运行的速度要快得多。

表 3 淡水上升速度

高度 (厘米)	含水量 (%)	水分上升的始终日期(天)	上升速度(厘米/天)
0—90	31.9—12	0—1.7	53
90—108	12—6.1	1.7—17	1.2
108—110	6.1—1.4	17—24	0.3

从图 1 的  $\text{Cl}^-$  浓度曲线可以看出,各段液态水都带盐运行,但薄膜水受土壤分子吸力的作用,粘滞性较高,水分运行微弱,即使是带盐运行,但对土壤盐渍化的作用是不大的。这符合卡庆斯基的意见<sup>[6]</sup>。

综上所述,在毛管支持水层中水分上升的速度快,强度也大,对土壤返盐的作用影响很大;在毛管支持水层以上的土层,水分仍带盐运行,虽速度慢些,强度小些,但仍应重视。在薄膜水范围内水分带盐运行,但速度极慢。

## (二) 在毛管支持水的活动范围内蒸发对紧砂土中水盐运行的影响

根据上面的试验,细砂质紧砂土的毛管支持水活动层大约是“地下”水面以上 90 厘米;因此,我们采用 65 厘米高的土柱加热蒸发(红外线灯泡的银边高出土柱表面 5 厘米)

进行試驗，土柱的温度状况見图 2。

从图 3 看出，蒸发前土柱中的水盐分布上下基本一致， $\text{Cl}^-$  浓度与原溶液浓度基本相同。由于灯照前表层水分稍有自然蒸发，表层土壤的盐分浓度稍大一些。蒸发（灯照）15 天后，除表层 1 厘米土壤稍干外，整个土体都仍潮湿；但在 30 厘米深度以上，因受灯照的热影响，土壤含水量較蒸发前稍低。这是因为土温升高，水的表面张力减小，使土壤持水量也减小。蒸发后， $\text{Cl}^-$  浓度在 12 厘米深度以下基本上无变动，而

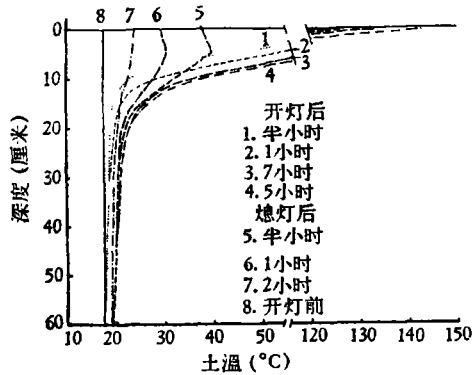


图 2 灯照第二天的土温状况

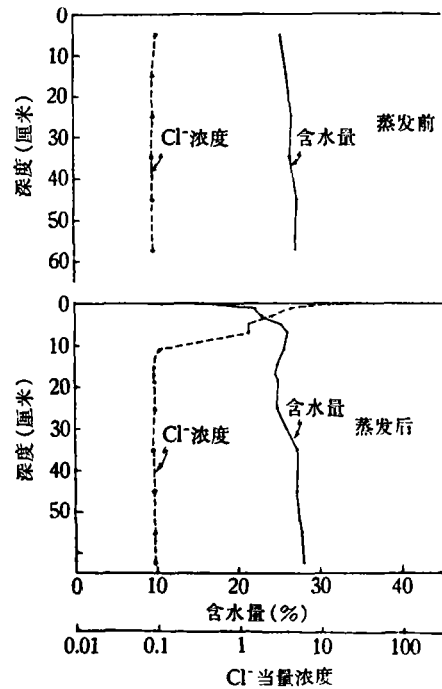


图 3 高 65 厘米的土柱在蒸发 15 天后的水盐分布状况

在 12 厘米以上到土表， $\text{Cl}^-$  浓度則逐渐显著增加，土表有厚达 1 毫米的盐结皮。蒸发过程中水盐平衡情况見表 4。

表 4 土壤水盐平衡計算

項 目	水 量 (毫米水柱)	項 目	$\text{Cl}^-$ 量(克)
(1) 土体内原来含水量	251.7	(1) 土体内原来含 $\text{Cl}^-$ 量	0.68
(2) 蒸发过程中进入水量	862.5	(2) 蒸发过程中随水进入 $\text{Cl}^-$ 量	2.44
(3) 灯照后实含水量	247.4	(3) 灯照后实含 $\text{Cl}^-$ 量	3.13
(4) 蒸发量*(計算值: (4)=(1)+(2)-(3))	866.8	(4) 差值(計算值: (4)=(1)+(2)-(3))	-0.01 (相对誤差 0.3%)

\* 相当于同样条件下自由水面蒸发量(1654 毫米水柱)的 52%

在整个蒸发过程中，进入土柱的水流强度不是稳定不变的；一般第一天最多，以后逐渐减少（表 5）。根据喇烏耳定律<sup>[1]</sup>，在一定温度下，溶剂里加入不挥发的溶质，其溶液的蒸汽压小于純溶剂的蒸汽压。一般純水的蒸汽压与空气相对湿度 100% 相平衡，飽和  $\text{CaCl}_2$  溶液只需空气相对湿度 30% 即可平衡。在本試驗的蒸发过程中，随着水分蒸发而表层土壤溶液中的  $\text{CaCl}_2$  浓度不断增大，其蒸气压也就不断降低。因此，蒸发水量也就逐渐

減少。后期土壤表面形成盐結皮,使土表有一硬壳,更阻碍水分的蒸发。

表 5 燈照过程中进入土柱的水量变化

灯 照 日 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
灯照 8 小时进入土柱的水量占同 期自由水面蒸发量的百分数	61	51	50	52	52	47	44	48	45	46	46	44	39	39	37
		50—52				44—48					37—39				

进入土柱的水流强度,在一天的 24 小时之内也是各不相同的(表 6),随灯照和熄灯引起的温度变化而不同。第 4—5 小时正是每天 12—13 时的時候,由于午休用电較少,电压显著增大(220—240 伏,一般只 180—210 伏),增强了紅外綫灯照强度,使土温升高(图 2),蒸发强度亦随之增大,因而进入土柱的水流强度最大。熄灯以后,进入土柱的水流强度逐渐明显减小,夜晚的水流强度最小。

由此可知,在毛管支持水的活动范围内,进入土柱的水流强度是密切随着土壤蒸发强度而变化的。蒸发强度愈大,水流强度愈大。土壤蒸发与温度呈正相关,但与表层土壤溶液浓度呈反相关。土壤受热蒸发,表层散失水分,产生湿度梯度,引起“地下”水上升运行,土壤水分得到补充,但随着上升水带来的盐分,因水分的不断蒸发而向上聚积使表层盐分浓度加大。而盐分浓度的增大又使蒸发减弱,削弱“地下”水补给土壤水的水流强度。因此,土壤表层的积盐强度在开始时是很大的,这对土壤盐化作用有很重要的意义。

表 6 第二天进入土柱的水流强度变化

时 間	开 灯 以 后 ( 小 时 )									熄灯以后(小时)			
	0—0.5	0.5—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	0—0.5	0.5—1	1—2	2—16
水流强度 (毫米水柱/小时)	1.10	4.72	5.77	6.02	8.49	10.39	9.24	6.91	6.24	5.52	2.64	0.82	0.27

### (三) 在毛管悬着水的活动范围内蒸发对紧砂土中水盐运行的影响

模拟田间經雨水或灌水淋洗后的上部为淡水层的土壤剖面情况,取 148 厘米高的土柱从土表灌入蒸餾水,以形成淡水的毛管悬着水层,然后在土柱底部連接含  $\text{CaCl}_2$  的“地下”水。蒸发处理分紅外綫灯照和自然蒸发两种,沒有重复,历时 39 天。

在灯照蒸发过程中,进入水量約 69.4 毫米水柱,带进  $\text{Cl}^-$  約 0.20 克;土壤蒸发量約 74.5 毫米,約为同样受热条件下自由水面蒸发量 1,173 毫米的 6.4%。未經灯照的处理,在自然蒸发过程中,只进入水量 36 毫米,带进  $\text{Cl}^-$  0.11 克;土壤蒸发量也只 36 毫米,約为自由水面蒸发量 90 毫米的 40%。从图 4 看出,在“地下”水面上的 0—90 厘米高度系毛管支持水层,90—148 厘米高度为毛管悬着水层。自然蒸发的土壤含水量在蒸发前后未有变化,而灯照蒸发的土壤也只表层 8 厘米厚度的水分有所減少;无论是灯照蒸发或自然蒸发,土壤盐分都向上移动。

土壤水流强度与蒸发强度的关系,是十分密切的。从图 4 自然蒸发的土壤含水量曲线看出,蒸发前后含水量沒有变化,就是土表的含水量也未有減少。这可說明,土柱表层因蒸发所耗損的水分可及时从地下水上升运行的水流得到补给;因此,蒸发前后土壤含水

量曲線沒有什麼變化。

再從圖 4 燈照蒸發的土壤含水量曲線來看，只有表層 8 厘米的水分有所減少，這可說明，在燈照蒸發的條件下，土柱表層所耗損的水分未能及時從地下水上升運行的水流得到充分的補給。因此，在表層逐漸出現較干的土層。

從圖 4 的含  $\text{Cl}^-$  量曲線看出，蒸發愈強，鹽分愈向上移動。但由於試驗時間可能不夠長，所以鹽分都還未到達表層。

由上可知，在毛管懸着水的活動範圍內，土壤蒸發所引起的水鹽上升運行，遠不及在毛管支持水活動範圍內蒸發所引起的那樣強烈。當毛管懸着水層的含水量大於毛管聯繫破裂含水量時，由於這層水分是與毛管支持水層水分相聯繫的，因此儘管它的積鹽強度不如毛管支持水層那樣大，但是對土壤鹽漬化問題仍有相當大的意義，應予重視和進一步研究。

最後，應該說明的是，在田間條件下還有植物根系的活動、人為耕作的影響等等，並且蒸發強度和持續時間、土壤質地剖面等也大不相同，這些都密切影響着土壤中水鹽的上升運行。因此本文模擬試驗結果雖可說明一定的問題，但還很有局限性，工作尚屬初步，有待深入研究和驗證。

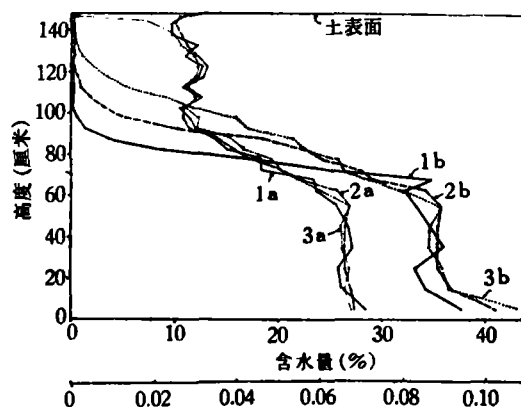


圖 4 高 148 厘米的土柱在蒸發 (39 天) 前后的水鹽分布狀況  
1a——蒸發前含水量，1b——蒸發前含  $\text{Cl}^-$  量 2a——自然蒸發 39 天含水量，2b——自然蒸發 39 天含  $\text{Cl}^-$  量 3a——紅外線燈照蒸發 39 天含水量，3b——紅外線燈照 39 天含  $\text{Cl}^-$  量

### 三、摘 要

1. 根據對細砂質緊砂土的玻管試驗結果，在風干土柱中含氯化鈣水由“地下”水面上升，經 136 天達 108.5 厘米高。

2. 在土柱的毛管支持水層內，水分上升速度快，水流強度也大；而在毛管支持水層以上的土層內，水分上升速度顯著減慢，水流強度也小。

3. 所有液態水(包括薄膜水)都帶鹽運行。鹽分減緩水分的上升速度和土壤蒸發。

### 參 考 文 獻

- [1] 黃子廂：物理化學。148 頁，高等教育出版社，1955。
- [2] A. A. 羅戴(袁劍勛譯)：土壤和土質的水分性質。40、46 頁，科學出版社，1958。
- [3] Роде, А. А.: Почвенная влага. 285—288, Изд. АН СССР, М., 1952.
- [4] Абрамова, М. М.: Передвижение воды в почве при испарении. тр. Почв. ин-та АН СССР, 41, 71—145, 1953.
- [5] Качинский, Н. А.: Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. 160, 167—168, Изд. АН СССР, Москва, 1958.
- [6] Качинский, Н. А.: Физика и механика почвы 40 лет на службе социалистического строительства. Почвоведение, 12, 20—34, 1957.
- [7] Вершинин, П. В. и др.: Основы агрофизики. 688, Гос. Изд. Физико-Мат. Литер. Москва. 1959.

- [8] Вадюнина, А. Ф. и Корчагина, З. А.: Методы исследования физических свойств почв и грунтов. 258, Гос. Изд. «Высшая Школа», Москва, 1961.
- [9] Muhammad, A. Qayyum and Kemper, W. D.: Salt-concentration gradients in Soils and their effects on moisture movement and evaporation. *Soil Sci.*, 93, 5, 333—342, 1962.

## A PRELIMINARY STUDY ON THE UPWARD MOVEMENT OF WATER AND SALT IN FINE SANDY SOIL

Hsia Chia-chi and Wang Gen-chen

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica)*

### (ABSTRACT)

From a glass-tube experiment on air-dried soil column the following results were observed: (1) The  $\text{CaCl}_2$  solution moved upward from the "ground water table" to a height of 108.5 cm in 136 days, (2) within the supported capillary water zone, the water front moved rapidly and the rate of water flow was great, but in the soil above that zone the movement of water front was slowed down and the rate of water flow decreased, (3) all kinds of soil water in liquid-phase (including film water) moved with salts, which caused the rate of soil water flow and soil evaporation to decrease.