

# 華北地區土壤水分問題

## I. 土壤水的擴散機制及水在剖面中運動的限制

馮兆林 陳玲愛

(中國農業科學院土壤肥料研究所)

華北地區在土壤水分問題上，據我們估計，存在着五種情況：第一種情況是在秋耕時期耕層的土壤水分是適宜於耕翻和耙耩的。在耕翻和耙耩的適當時，冬季土壤水分不但不丟失反而在春季開凍時剖面上部有不同程度的增加，冬季土壤水分結凍在 20—50 厘米，可是在解凍後隨着氣溫的上升和乾風的到來（約在 2 月下旬或 3 月上旬），土壤水分蒸發的丟失，就使有些年份的春季下種出苗遇到困難，特別是棉花、小米和玉米的下種和出苗。具有這種情況的地區面積是相當廣大的，北京附近直到昌平、京漢路兩側地區直到鄭州、晉中盆地和晉南盆地、忻縣盆地、山東的膠東及其一部分的丘陵地區，這些地區一般的海拔是從 10 到 900 米<sup>[20]</sup>，地下水距地面一般在 2 米以上。在這種情況下的土壤，雖在多年灌溉下無鹽漬化現象，今後仍不大可能有。這些地區主要的土壤水分問題，是在秋耕很好的地裏在剛開凍後一個不長時期內的土壤水分蒸發的丟失，也就是一個如何控制土壤水分汽態的丟失問題。

第二種情況是一年一熟的平緩梯地區。在這個地區裏，有灌溉條件的土壤產量還是很高的。這一地區包括永定河的桑乾河及洋河流域，即東起懷來沿京綏路兩側向西經張家口直到大同，包括大同盆地，再沿鐵路西行經集寧直到包頭，平均海拔約在 700—900 米之間，地下水埋藏深度相差甚大，1.5—5 米不等。這一地區的水分特點是：在灌溉的平緩梯地上，在秋天要隨收隨耕翻，表土水分在秋耕的過程中丟失很快，易生坷垃，需及時耙耩。自秋耕後至明春，水分丟失甚大，土壤由於砂性或粉砂性較強，所保持的有效水分為春天的出苗都有困難，需要等待春雨才能下種出苗。在春種和夏耕的季節，這一帶的土壤水分情況的惡劣僅次於內蒙高原。但是在這一地區，凡是有灌溉條件的土地，每年作物產量都是比較平穩的。在這些地區是要研究如何利用重型播前播後鎮壓土壤以控制汽態水分丟失問題。在這些地區，土壤水分通過汽態的丟失比前面所提到的第一種情況嚴重。

第三種情況是在隨收穫隨秋耕耙耩的條件下，土壤水分即開始通過蒸發而丟失，這是由於較大的風速（較第一種情況的風速大），也是由於土壤質地的砂性，表土層較薄；也是由於土壤的田間持水能力低、土壤水分基礎差，可是另外一種有利於保持土壤水分的條件是土壤水結凍早，結凍較深，結凍時期較長。具有這種情況的典型地區是內蒙高原的農耕地區，就是由張北經集寧、四子王旗直達固陽的西斗舖（海拔約在 950—1,500 米）。這一帶主要是丘陵的樑地，它們的坡度一般是 0—5 度，坡是長的，可達 2、3 里或 5、6 里不等。這一帶的土壤統稱為淡栗鈣土，其中大部分俗稱“白乾土”的，而白乾土在多大程度上是不

同於一般的淡栗鈣土的問題尚需詳細研究，也就是說白乾土的突出的白乾層的不透性是它的剖面特性的特點。只有表土很薄的一層是能容納水分和養分的。白乾層本身的不透性就是促使逕流的原因之一。作物只能依靠白乾層以上的薄土層以取得有限的暫時存在的水分(在生長季節裏 20—30 厘米的水分約在 14%，而 50—100 厘米僅有 6% 左右)。而這一帶約佔總耕地面積的 5—10% 的灘地的情況就大不相同了。這些灘地由於相對低的地勢和深厚的淤積和沖積而來的土層，一般是肥沃的。這種灘地不但能得夏季的洪淤之利，而且還有逕流的蓄積深貯底層，達到潛水面。並且有些地方也有潛流存在。地下水埋藏深度一般在 1—3.5 米之間。但灘地在春夏之交也要等雨而下種的。灘地在生長季節裏，土壤水分除去在特殊早年的春季外，一般是不感缺乏的。除去所處的氣候環境不同外，在土壤剖面的水分特性與下面將要提到的第四種情況是有相同之處。樑地上主要的土壤水分問題是利用夏季深耕休閒和春季的減低土壤蒸發，實行三年二熟制或四年三熟制。灘地的土壤水分問題是冬季和早春的表土密度問題，可以不推行像樑地那樣的夏季深耕休閒制度，實行一年一熟制，在適宜的土壤耕作下是可以得到平穩的產量。

第四種情況是地下水埋藏深度距地面很近，而在春季的後半季土壤又特別乾旱的地區。這些地區的特點是地下水埋藏深度經常在 0.5—2 米左右，晚春季乾旱是經常的。剖面土壤不是粘性到底就是砂性到底，但很大的部分是粘層砂層交替的。粘層的厚度不同代表着肥力的不同，也代表着控制鹽分上昇的能力。如果是在鹽鹼地區表土寧粘勿砂。在鹽鹼的條件下，如又遇上了砂性到底的剖面，這種鹽鹼地是不好改良的。這個原因之一就是剖面不具備控制水分的機制存在。控制剖面水分垂直擴散的機制是砂質剖面上面一層不小於 20 厘米的粘土層的存在。黃驊、滄州、鹽山、蘆台一帶的鹽鹼地就有這種情況。如果是粘土剖面在播種春作物時，一般是耕層有效水分不足的，必須加上播後鎮壓才能出苗。如果是砂性剖面，發芽後往往出土的幼苗被過多的鹽鹼結皮所傷害。甚至於在潛水位太高的地區不論春播或秋播均遇到泥濘狀態，這個地區包括文安窪、黃莊窪和保定專區的內澇區和天津專區的一部分以及魯西的湖區。因此有些地區不能不用犁刀方法播種。此外，從天津起沿津浦路兩側直到德州、石德路從東鹿往東直到德州兩側一定的距離，隴海路從開封往東一直到商邱的低窪砂地區，也有類似情況。這樣的地區是零星分佈在第一種情況的地區(平均海拔在 3—50 米之間)。在這種情況下的土壤，即不在灌溉下也容易鹽漬化，而且有很大部分已經鹽漬化了。這一地區的土壤水分問題是土壤剖面的毛管邊緣水的界綫太寬，地下水埋藏深度變動遲緩和剖面水分傳導過低。在這個情況中所經常發生的秋澇問題是屬於水利工程的排水工程問題。

第五種情況是進行冬灌後土壤水分的移動問題。進行冬灌以後，土壤剖面的一定深度達到田間持水量。由於冬季土壤剖面的溫度梯度的發展，剖面的水分就要進行重新分配以保持梯度所引起的新的平衡。這種重新分配在冬季土壤水凍結 15 厘米的地區，都是顯著存在的。但是分配的情況首先決定於結凍時剖面的水分含量和剖面特性。因此在冬灌條件下，可以推斷，剖面水分的分配由於水分含量的增加當更為明顯。此外，在實行冬灌的粘土上，在田間持水量的情況下，土壤水分驟然封凍，約在表層一定的深度(0—5 厘米)可形成與地面平行的片狀假團粒結構。具有這種情況的地區是零星分佈在黃河流域以北、長城以南、關中平原渤海沿岸、新疆以及後套。在這種情況下的土壤水分問題是控

制水分在剖面中的分佈地位以及由於土壤水分結凍所形成的片狀結構對於阻止第一次春灌或第一次大雨之前的春季水分蒸發的丟失。

以上五種情況，只是概括性質的。除第二與第三種情況各有較固定的分佈區域外，第一種情況與第四種情況的分佈是相間存在的，它們相對的面也是可以估計的。

針對以上五種情況，我們將陸續的把這幾年來我們所作的土壤水分工作按以下的內容整理發表：I. 土壤水的擴散機制及水在剖面中運動的限制；II. 汽態水分及其控制；III. 溫度梯度對土壤剖面水分運動的作用；IV. 毛細管邊緣水及地下水埋藏深度；V. 非毛管水的剖面分佈及剖面結構的穩定性；VI. 華北地區的土壤水分控制方法。

第一個問題就是本文所要報導的“土壤水分擴散的機制問題”。在這個問題裏我們將討論擴散機制的性質以及在解釋水分平行擴散與垂直擴散的應用。以此為起點，以後的幾個問題的討論就有了基礎。

## 一、理論背景

自從 Kirkham 和我<sup>[9]</sup>發表了關於擴散學說的試驗和土壤毛管水分流動的論文以後，有的研究者對於文內的立論意見是不一致的：Miller 和 Miller<sup>[11,12]</sup>認為在水分進入水平土柱時，Klute 所建議的非直線性的擴散學說不但可以預計擴散與時間的關係，也能預計擴散與空間的關係；Klute<sup>[10]</sup>，Bruce 和 Klute<sup>[2]</sup>認為在觀察水分進入水平土柱時可以觀察到濕陣的存在，但公式 3 並不能指出濕陣的存在。他認為一個土壤水分流動完善的學說應該預先指出濕陣的存在。Swartzendruber<sup>[18]</sup>認為報阿西 (Poisceulle) 的分析是假定在濕陣後面的土壤都是飽和的，而實際上不是的。在這裏他是同意我們的意見的。在另一篇文章裏，Swartzendruber<sup>[19]</sup>是同意我們所說的水平土柱所吸的水量是與時間的平方根成正比的，但是他不同意正比的常數是一致的。關於這一點我們在本文中也將予以討論。Роде<sup>[17]</sup>認為，公式  $h = kt^{1/2}$  是真實的，並且認為我們的試驗資料也正證明了這個公式的正確性。Wadleigh 和 Richards<sup>[21]</sup>認為由於濕陣的存在，在實踐上就應該保證在植物生長時使根域水分保持在田間持水量或田間持水量以上的程度，以便植物能利用多量的有效水分。Philip<sup>[15]</sup>認為擴散是隨着土壤水分含量而變動的，所以試驗結果與計算出來的結果的不吻合是不足奇怪的。

Gardner 和 Widtsoe<sup>[6]</sup>，Childs<sup>[4]</sup>，Nicholson 和 Childs<sup>[13]</sup> 以及 Ostashev<sup>[14]</sup> 都曾應用了擴散學說來解釋水在土壤中的運動。這個學說，假定水在土壤中的毛管運動是與熱在固體中的傳遞或分子在氣體中的擴散是相類似的。Buckingham<sup>[1]</sup> 的毛管流動的基本方程式是： $v = -k\partial\psi/\partial x$ ，在這個方程式中的毛管傳導係數  $k$  並不是一個常數，它是隨着毛管勢的改變而改變很快的。在上面的方程式中， $v$  是每單位時間內穿過垂直於  $x$  方向的單位面積的水量， $\psi$  是毛管勢， $\partial\psi/\partial x$  是  $\psi$  向  $x$  方向的改變率。

Gardner 的擴散方程式的導出是以土壤中的毛管力為基礎的，他假定在 Buckingham 的方程式中的  $k$  量是一個常數，這個常數是與水分含量無關的。後來他修正了他的這個觀點<sup>[7]</sup>，但是 Childs 導出他的方程式完全是在不同的基礎上，他沒有考慮毛管力和  $k$  量。Ostashev 沒有很明確的導出擴散學說的微分方程式。

Childs<sup>[5]</sup> 所假設的基本方程式是

$$\partial Q/\partial t = -k\partial c/\partial x \quad (1)$$

在這個方程式裏  $\partial Q/\partial t$  是在單位時間內穿過垂直於  $x$  方向的單位面積的毛管水的流量； $c$  是水量與乾物量的比率； $\partial c/\partial x$  是水分梯度； $k$  是擴散係數。利用方程式(1)和連續性方程 Childs 指出了單量綱的流動

$$\partial c/\partial t = (k/\sigma)\partial^2 c/\partial x^2 \quad (2)$$

在這個方程式裏， $\sigma =$  在土壤的單位容積中的量（即假比重），Ostashev 曾研究了這個問題。假若是擴散學說可以應用的話，這個問題的解法應該是

$$c - c_i = (c_a - c_i) \left[ 1 - (2/\sqrt{\pi}) \int_0^{x/2\sqrt{(k/\sigma)t}} e^{-\beta^2} d\beta \right] \quad (3)$$

在這種方程式裏， $c =$  在接水後  $t$  時間內距水源一定距離的任何點  $x$  的水分百分數， $c_i =$  原來的土壤水分百分數，假定它是個常數，也就是風乾土的水分百分數， $c_a =$  接水後的而且保持的水平土柱的水分百分數，即在  $t = 0$  後的整個時間內，在濕的那一端  $x = 0$  時的水分百分數。 $\beta =$  積分變量，它將在定積分的演算過程中消逝。正是因為以上的解法是與熱流問題中的相類似，所以方程式(3)可以應用到導熱的問題中去。例如，一個常溫  $c_a$  迅速的接到並且保持在金屬棒的一端，它全身的原來的溫度是  $c_i$ ，這個金屬棒的熱擴散性是  $(k/\sigma)$ ，而且這個金屬棒除去被加溫的那一端外，其餘部分是被包上了一層不傳熱的東西。在有關熱流的文獻中，方程式(3)一般是利用  $c_i = 0$  和  $c_a = 1$  (Carslaw<sup>[9]</sup> 和 Schack<sup>[20]</sup>) 而導出的。

參照方程式(1)，在  $t = 0$  到  $t = t$  時間內進入土管一定橫斷面的水量  $Q$  是

$$Q = k \int_0^t (\partial c/\partial x) dt \quad (4)$$

在這個方程式中  $\partial c/\partial x$  的估計是在  $x = 0$ 。藉助於方程式(3)，那麼方程式(4)就變為

$$Q = 2(k\sigma/\pi)^{1/2} (c_a - c_i) t^{1/2} \quad (5)$$

這個方程式也就是

$$Q = At^{1/2} \quad (6)$$

在這裏面

$$A = 2(k\sigma/\pi)^{1/2} (c_a - c_i)$$

假若  $c$  在方程式(3)裏是一常數，那麼積分的上限一定是常數，也就是

$$x = \beta t^{1/2} \quad (7)$$

在這裏面  $\beta$  是一個常數，它是隨  $(k/\sigma)$  和  $c$  的常數而變動的。

## 二、試 驗

挖土壤剖面至潛水位(如水位太深可挖至需要的深度)，按照土壤自然層次，分層採取土壤標本。將田間取來的樣品輕輕弄散，放在通風的地方陰乾，並將樣品通過 1—0.5 毫米篩孔的篩子，置於廣口瓶中，備作分析之用。

在平滑的木板上(長 120 厘米)，釘上寬 3 厘米厚 1 厘米的光滑的木條所製成的木板(木條之間相距 1.5 厘米)。這樣木板形成了凸起的部分(釘木條處)與凹下的部分(原來的木板)。將木板固定在實驗台上，板務必呈水平。在凸起的木條上放內徑 0.82 厘米的粗玻管，兩端用小釘把它固定，板之低處放內徑 0.52 厘米的 120 厘米的細玻管。粗管內

裝土壤標本，細管內裝水，兩管之一端用橡皮管連接起來，這樣裝置，土管約高於水管 1 厘米左右，以保證無重力壓存在，內徑大於 0.5 厘米的管子，不能用作水管，因為表面張力不能保持一個垂直的彎月面。

用長約 120 厘米的粗玻管，將其一端燒成稍細一些，另用與管徑相仿的小銅絲網，放在細口的一端，然後將準備好的樣品裝入，邊裝邊輕敲玻管，盡量使均勻度一致，不祇是粘土的含量，就是緊密的程度也影響水的運動速率。裝完後他端用棉花塞起來。同時另取該樣品一份，測定風乾土的含水量。

於細玻管中裝滿以水，平放在木板之低處，並將裝好樣品的土管置於凸起的木條上，把土管的細口那一端與水管之一端用橡皮管連接起來。並在土管及水管旁各按一小條坐標紙。

試驗開始時，用手略抬水管之另一端，使水柱接觸土樣，當樣品剛一開始浸潤，即開停錶計算時間，以後每 10、30、60、90、120、150、180、240、300、360、480、600……分鐘記土管浸潤距離及水管移動距離於坐標紙上。

浸潤到一定的長度（我們用的長度是 80—120 厘米之間）立刻去掉水源，即用三角銼將土管按 10 厘米一段從水源端依次鋸斷，並將鋸斷的土管順次編號，稱重，烘乾，再稱重，計算每段的含水量。

試驗所用標本的土壤剖面情況：

1. 河北省滄縣專區農場厚膠泥層非鹽漬土（剖面至 180 厘米出水），該地去年種棉花，春耕後耙耩，坷垃不多，無大坷垃，今年種陸稻。剖面 0—50 厘米為壤粘土，小粒狀結構，有蚯蚓洞及蚯蚓糞。50—60 厘米為壤土，無明顯的結構，有蚯蚓洞。60—87 厘米為重粘土，片狀結構。87—94 厘米為壤土，無明顯的結構。94—180 厘米壤粘土，小粒狀結構，小粒外表面較為光滑。

2. 河北省滄縣專區農場輕鹽漬土（剖面至 153 厘米出水），該地稍有反鹽現象，對麥苗略有影響，可是麥苗長大後就無影響，今年種陸稻。剖面 0—9 厘米為壤土，小粒狀結構，有蚯蚓糞及蚯蚓洞。9—28 厘米為粘壤土，塊狀結構不大明顯，有蚯蚓糞及蚯蚓洞。28—54 厘米為壤土，無明顯的結構，有蚯蚓洞。54—94 厘米為壤土偏砂，無明顯的結構。94—150 厘米為壤粘土，小塊狀結構。150 厘米以下為粘土，片狀結構。

3. 河北省滄縣專區農場鹽漬土（剖面至 140 厘米出水），反鹽嚴重，地表呈白色，小麥生長不良。剖面 0—42 厘米為壤土，較鬆散，表層略有結構，下面不明顯。42—58 厘米為粘土，其中夾雜有壤土，塊狀結構。58—64 厘米為壤土，無明顯的結構。64—74 厘米為粘土，塊狀結構。74—140 厘米為壤土偏砂，無明顯結構。

4. 衡水小辛集輕壤土（剖面至 190 厘米出水，其旁潛水面觀察管水位 215 厘米），麥地。剖面 0—20 厘米為壤土偏砂，無明顯結構，堅實度<sup>1)</sup> 17.3 斤/平方厘米。20—59 厘米為壤土，夾雜有壤粘土，堅實度 15.8 斤/平方厘米。39—59 厘米為壤土，無明顯結構，堅實度 22.1 斤/平方厘米。59—79 厘米為壤土偏粘，小塊狀結構，銹斑很多，堅實度 18.6 斤/平方厘米。79—106 厘米為粘壤土，小塊狀結構，有銹斑，堅實度 22.4 斤/平方厘米。106

1) 即金屬棒其接觸面為 1 平方厘米，入土 5 厘米所遇到的阻力。阻力以斤/平方厘米表示，為  $\frac{1}{2}$  公斤/平方厘米。測定 20 次的平均數，測定時各層濕度不十分一致。

—163 厘米爲粘土,塊狀結構,銹斑很多,堅實度 25.6 斤/平方厘米。163—190 厘米爲壤土,無明顯結構,堅實度 6.4 斤/平方厘米。

5. 衡水試驗站壤土(剖面至 197 厘米出水,其旁地下水觀測管的地下水埋藏深度爲 165 厘米),麥地。剖面 0—42 厘米爲壤土,無明顯結構,石灰反應強,堅實度 16.0 斤/平方厘米。42—73 厘米爲粘壤土,小塊狀結構,小塊之表面光滑,石灰反應強,堅實度 35.6 斤/平方厘米。73—114 厘米爲粘土,中塊狀結構,有光滑面,有銹斑,石灰反應強,堅實度 38.3 斤/平方厘米。114—150 厘米爲粘土與壤土夾雜層,中塊狀結構,有銹斑,堅實度 23.8 斤/平方厘米。150—197 厘米爲壤土,單粒結構,易崩塌,石灰反應強,堅實度 6.5 斤/平方厘米。197 厘米以下爲粘土,小塊狀結構。

6. 衡水小辛集北沼村粘土(剖面至 130 厘米出水,其旁地下水觀測管的地下水埋藏深度爲 125 厘米),麥地。剖面 0—13 厘米爲壤土,無明顯結構,堅實度 13.1 斤/平方厘米。13—48 厘米爲壤粘土,塊狀結構,很硬,堅實度 15.2 斤/平方厘米。48—60 厘米爲壤土,無明顯的結構,堅實度 7.2 斤/平方厘米。60—68 厘米爲壤土,夾有粘土,無明顯結構,堅實度 10.0 斤/平方厘米。68—110 厘米爲壤土,無明顯結構,堅實度 7.3 斤/平方厘米。110—130 厘米爲粘土,小塊狀結構,堅實度 11.1 斤/平方厘米。

### 三、結 果

從圖 1 及圖 2 可以看到不論是水浸潤土管的距離,或是所吸收的水量也好,它們都是與時間的平方根成正比。在所試驗的六個土壤剖面裏,水在較下層的擴散率<sup>1)</sup>較低。滄縣厚膠泥層非鹽漬土的(圖 1 a) 60—87 厘米,400 分鐘後的擴散率是 24 厘米,但在同樣時間內的表層土是 74 厘米,約高 3 倍。表層土壤是壤粘土,呈小粒狀結構,有蚯蚓糞及蚯蚓洞,可是 60—87 厘米的土壤是重粘土,呈片狀結構。在這層粘土的水分擴散率較低,所以土壤吸收水量也較少(圖 1 右)。在圖 1 b 剖面 2 的情況是 150 厘米以下的土層是粘土層,小塊狀結構(未作試驗,無數據)。圖 1 c 剖面 3 是鹽漬土,在這個剖面裏 64—74 厘米的土壤形態是粘土層,塊狀結構,水在這層的擴散率很小,較表層小了 2 倍。圖 2 d 剖面 4 是代表衡水小辛集的輕壤土,79—106 厘米是粘壤土,小塊狀結構,有銹斑,堅實度爲 22.4 斤/平方厘米,水在這層的擴散率比表層小 2.9 倍。106—163 厘米是粘土,塊狀結構,銹斑很多,堅實度爲 25.6 斤/平方厘米,水在這層的擴散率比表層小 4.6 倍。163—190 厘米的擴散率比 79—106 和 106—163 厘米兩層大,這是因爲 163—190 厘米這一層的堅實度較小,只有 6.4 斤/平方厘米。圖 2 e 剖面 5 代表衡水試驗站的壤土,是很好的棉地,73—114 厘米是粘土,中塊狀結構,有光滑面,有銹斑,堅實度爲 38.3 斤/平方厘米,水在這層的擴散率比表層小 3 倍;114—150 厘米是粘土與壤土夾雜層,中塊狀結構,有銹斑,堅實度爲 23.8 斤/平方厘米,水在這層的擴散率比表層小 5 倍。圖 2 b 剖面 6 代表衡水小辛集北沼村粘土,110—130 厘米是粘土,小塊狀結構,堅實度爲 11.1 斤/平方厘米,水在這層的擴散率比表層小 2.8 倍。

在這六個有代表性的剖面裏,共同特性是表面幾層的水分擴散率較大而很近似。這幾層的擴散率可歸爲第一組。從上述事實也可以看出:除滄縣輕鹽漬土外,其他五個剖面

1) 擴散率在這裏的意思是每單位  $t^{1/2}$  所浸潤的土管的距離。

河北省滄縣專區農場

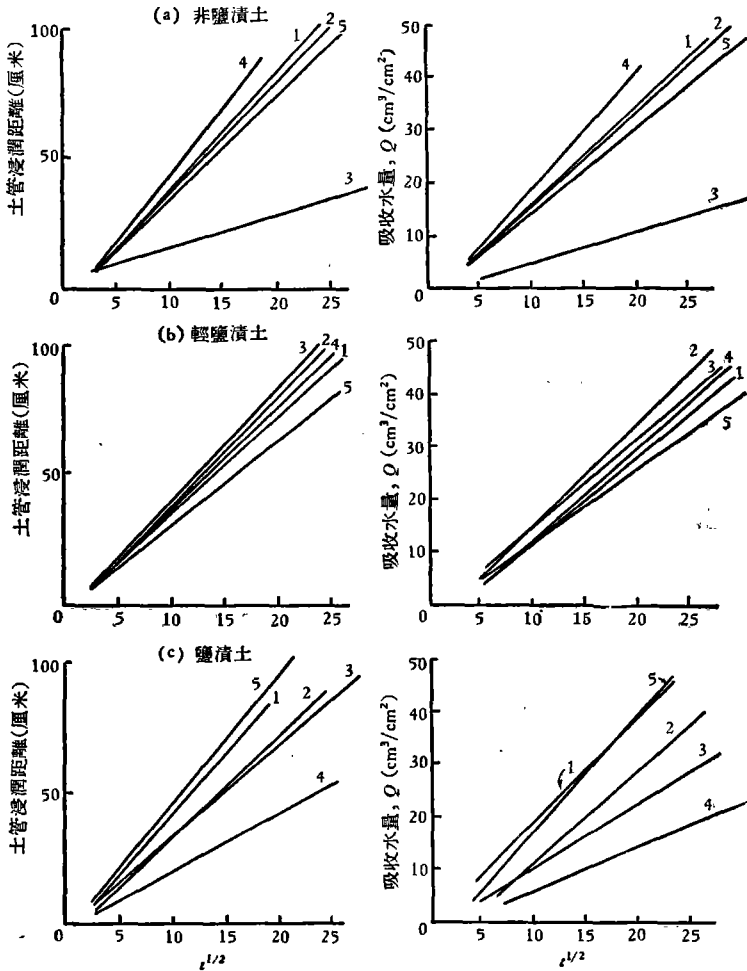


圖 1 土管浸潤距離及所吸收的水量與時間平方根的關係

(a) 非鹽漬土 1.....0—50 厘米 2.....50—60 厘米 3.....60—87 厘米 4.....87—94 厘米  
 5.....94—180 厘米 (b) 輕鹽漬土 1.....0—9 厘米 2.....9—28 厘米 3.....28—54 厘米  
 4.....54—94 厘米 5.....94—150 厘米 (c) 鹽漬土 1.....0—42 厘米 2.....42—58 厘米  
 3.....58—64 厘米 4.....64—74 厘米 5.....74—140 厘米

的較低層也有一個共同性，即 60—190 厘米或以下層次水的擴散率較小而相近似，這些層可以歸作第二組。上述兩種情況在華北平原土壤中是普遍存在的（滄縣輕鹽漬土沒有第二組擴散特性），對於水分垂直運動是有決定性作用的（關於這個問題將在另文討論）。

方程式(6)和(7)似乎已被證實，用擴散學說來解釋這個現象似乎已經合理。但是這不一定是真實的，首先在方程式(6)和(7)若是給予 A 與 B 常數以不同意義時，方程式(6)和(7)可以由毛細管學說導出。例如 Keen (8, 94 頁)。第二，擴散學說並未提供有驟然的改變，也就是說它沒有提供有濕陣的存在，可是在我們的以及其他作者們的觀察裏有濕陣的存在。

爲了明確這個問題，又進行進一步的試驗。試驗的方法與前面所述相同，只是在水浸潤土管到一定的距離（見表 1）後測定土管的水分分佈。把土管迅速與水管分開，然後將

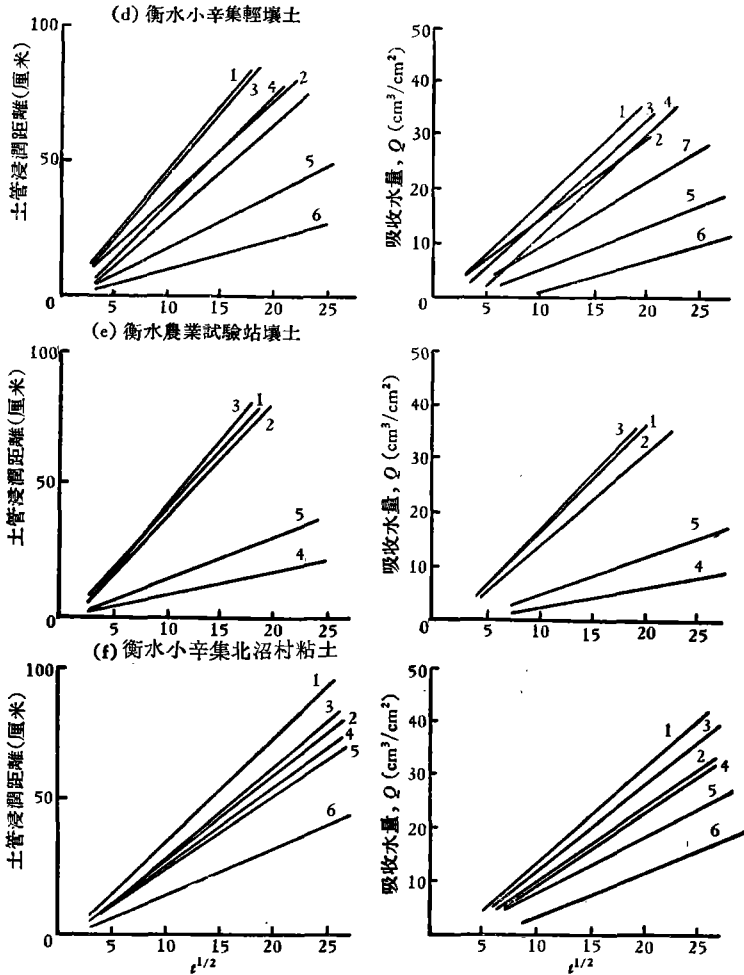


圖 2 土管浸潤距離及所吸收的水量與時間平方根的關係

(d) 輕壤土 1.....0—20 厘米 2.....20—39 厘米 3.....39—59 厘米 4.....59—79 厘米  
 5.....79—106 厘米 6.....106—163 厘米 7.....163—190 厘米 (e) 壤土 1.....0—18 厘米  
 2.....18—42 厘米 3.....42—73 厘米 4.....73—114 厘米 5.....114—150 厘米  
 (f) 粘土 1.....0—13 厘米 2.....13—48 厘米 3.....48—60 厘米 4.....60—68 厘米  
 5.....68—110 厘米 6.....110—130 厘米

土管每 10 厘米斷為一段，先從入水頭起測定每段的水分含量(見表 1)。

根據方程式(3)水在土管中分佈的理論百分數是可以計算出來的，繪成曲線，以  $c$  為縱坐標， $x$  為橫坐標。計算時所用數值舉例如下： $c_a$  是土管接水管的 10 厘米一段的水分百分數，一般是在 50% 左右， $c_i$  為風乾土水分百分數，一般是從 2—5%； $t$  值可由圖 1 讀出；假比重  $\sigma$  在各土管中是不一致的，可由測定得到，一般是 0.92—1.02 克/立方厘米，我們這裏用了兩個平均數字即 0.92 和 1.02； $(k/\sigma)$  值可由方程式(5)和利用  $Q$  值得到。例如滄縣專區農場輕鹽漬土 28—54 厘米的土管第一段(即 0—10 厘米)水擴散的理論百分數計算可這樣進行：在圖 1 上 10 厘米的滄縣輕鹽漬土土管的  $t^{1/2} = 5.6$ ， $t = 31.4$  分，從表 1 可以看出相當於這個時間的  $Q = 6.79 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ ，以  $\sigma$  去除方程式(5)並計算  $(k/\sigma)^{1/2}$ ，



表1 每10厘米土管內的水分百分數

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
1. 河北省滄縣專區農場厚膠泥層非鹽漬土						
0~50 厘米(壤粘土)						
0—10	5.1	5.47	3.41	54.45	27.8	1.06
10—20	7.4	10.38	6.20	52.43	26.6	1.40
20—30	9.8	13.96	6.00	51.82	24.0	1.42
30—40	12.0	18.11	6.70	50.89	23.0	1.50
40—50	14.4	22.64	7.89	50.43	23.65	1.57
50—60	16.7	26.98	7.89	50.51	23.0	1.68
60—70	19.0	30.94	7.78	49.47	22.0	1.58
70—80	21.3	35.28	8.58	49.59	22.6	1.67
80—90	23.5	41.32	9.30	48.01	23.0	1.78
90—100	25.8	43.77	8.58	46.23	22.0	1.71
100—110	—	—	—	42.12	—	—
風乾土水分含量 4.76%						
50~60 厘米(壤土)						
0—10	5.2	4.91	2.10	60.25	22.0	0.94
10—20	7.5	8.87	3.24	59.69	19.0	1.18
20—30	10.0	13.40	—	57.69	—	1.34
30—40	12.4	17.17	4.45	57.49	19.0	1.38
40—50	14.7	21.51	—	56.39	—	1.24
50—60	17.1	25.85	5.42	56.13	19.3	1.51
60—70	19.5	30.00	—	55.48	—	1.54
70—80	21.9	34.15	5.66	54.24	18.6	1.56
80—90	24.2	38.49	—	54.21	—	1.59
90—100	26.6	42.64	6.00	51.72	18.4	1.60
100—110	29.0	46.98	—	51.06	—	1.62
110—120	—	—	—	43.00	—	—
風乾土水分含量 3.04%						
60~87 厘米(重粘土)						
0—10	9.9	4.71	1.08	45.94	25.3	0.48
10—20	17.0	9.06	—	44.53	—	0.53
20—30	24.0	13.40	1.61	43.40	22.0	0.54
30—40	30.7	16.98	—	42.27	—	0.53
40—50	37.6	21.89	1.74	43.13	22.7	0.57
50—60	45.2	26.42	—	39.74	—	0.58
60—70	52.3	30.76	—	38.75	19.5	0.58
70—80	59.3	35.09	1.90	38.03	—	0.59
80—90	—	—	—	32.46	—	—
風乾土水分含量 4.43%						

\*  $A$  即為  $Q = A t^{1/2}$  中的  $A$

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
87~94 厘米(壤土)						
0—10	4.2	5.85	6.65	50.11	27.2	1.39
10—20	6.3	10.75	—	48.81	—	1.58
20—30	8.3	15.28	11.60	48.74	24.4	1.80
30—40	10.3	20.00	—	48.59	—	1.94
40—50	12.4	24.90	13.7	48.62	23.75	2.00
50—60	14.4	29.24	—	48.53	—	2.00
60—70	16.4	34.34	14.9	48.10	23.95	2.10
70—80	18.4	38.87	—	43.85	—	2.10
80—90	—	—	—	41.19	—	—
90—100	—	—	—	36.02	—	—

風乾土水分含量 3.02%

94~180 厘米(壤粘土)						
0—10	5.5	5.85	3.09	56.71	28.3	1.06
10—20	8.0	10.19	—	50.68	—	1.25
20—30	10.6	14.34	5.15	50.41	23.71	1.40
30—40	13.1	18.68	—	49.64	—	1.40
40—50	15.3	22.45	6.00	49.64	22.0	1.47
50—60	18.2	27.36	—	49.15	—	1.50
60—70	20.7	31.51	6.30	49.35	21.81	1.55
70—80	23.3	36.03	—	48.39	—	1.56
80—90	25.7	40.00	6.76	47.12	22.7	1.60
90—100	28.2	44.15	—	45.05	—	1.58
100—110	—	—	—	39.97	—	—

風乾土水分含量 4.29%

## 2. 河北省滄縣專區農場輕鹽漬土

0~9 厘米(壤土)

0—10	4.9	3.96	2.09	51.92	18.2	0.73
10—20	7.7	8.49	—	50.62	—	1.05
20—30	10.5	12.64	4.62	49.91	19.7	1.26
30—40	13.3	18.11	—	48.56	—	1.25
40—50	16.1	22.83	6.60	48.48	20.51	1.25
50—60	19.0	27.74	—	46.98	—	1.29
60—70	21.8	32.35	7.23	46.99	22.2	1.38
70—80	24.5	38.68	—	46.36	—	1.40
80—90	27.3	42.08	7.89	43.42	22.43	1.38
90—100	30.1	46.79	—	42.62	—	1.36
100—110	—	—	—	40.42	—	—

風乾土水分含量 2.87%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
9~28 厘米(粘壤土)						
0—10	4.7	4.91	3.57	52.71	24.3	1.03
10—20	7.1	9.43	—	55.92	—	1.30
20—30	9.5	14.15	4.79	47.93	18.4	1.48
30—40	11.8	18.49	—	45.46	—	1.60
40—50	14.2	23.21	8.76	45.35	23.2	1.60
50—60	16.6	27.92	—	46.51	—	1.70
60—70	19.0	32.45	9.67	45.49	23.29	1.70
70—80	21.3	36.98	—	43.24	—	1.70
80—90	23.7	43.77	11.22	41.88	24.2	1.85
90—100	26.0	46.04	—	38.56	—	1.80

風乾土水分含量 3.58%

28~54 厘米(壤土)

0—10	5.6	6.79	5.9	45.12	28.0	1.21
10—20	7.8	10.57	—	47.35	—	1.28
20—30	10.0	14.34	8.41	46.75	21.75	1.42
30—40	12.1	17.92	—	49.45	—	1.40
40—50	14.3	21.70	13.69	47.25	23.7	1.50
50—60	16.5	25.66	—	47.08	—	1.56
60—70	18.6	29.06	9.83	43.94	19.2	1.60
70—80	20.8	33.02	—	42.33	—	1.65
80—90	23.0	36.79	10.5	39.73	17.76	1.56
90—100	25.2	40.76	—	—	—	—

風乾土水分含量 2.01%

54~94 厘米(土壤偏砂)

0—10	4.9	3.96	1.89	54.80	18.0	0.80
10—20	7.4	8.11	—	50.00	—	1.10
20—30	10.0	12.64	4.62	48.83	19.3	1.26
30—40	12.5	16.79	—	47.51	—	1.28
40—50	15.0	21.13	5.76	46.37	19.3	1.40
50—60	17.6	25.66	—	45.78	—	1.47
60—70	20.2	30.19	6.00	44.65	19.3	1.50
70—80	22.7	34.53	—	43.08	—	1.55
80—90	25.2	38.68	6.80	40.43	19.8	1.50
90—100	27.7	42.83	—	36.88	—	1.56

風乾土水分含量 2.63%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
94~150 厘米(壤粘土)						
0—10	4.6	5.28	3.8	56.52	25.3	1.13
10—20	7.6	9.62	—	53.83	—	1.43
20—30	10.5	13.58	4.4	52.34	22.0	1.36
30—40	13.5	17.92	—	51.75	—	1.30
40—50	16.4	21.89	5.15	52.71	22.8	1.30
50—60	19.4	26.23	—	50.43	—	1.37
60—70	22.3	30.38	5.38	50.81	22.25	1.37
70—80	25.2	34.53	—	47.17	—	1.37
80—90	28.2	39.25	5.56	46.45	22.7	1.39
90—100	—	—	—	42.68	—	—

風乾土水分含量 5.08%

## 3. 河北省滄縣專區農場鹽漬土

0~42 厘米(壤土)

0—10	4.1	7.36	8.64	55.79	31.6	1.82
10—20	6.3	10.38	7.29	55.66	23.2	1.59
20—30	8.5	15.09	5.56	52.34	—	1.76
30—40	10.6	19.62	—	45.38	—	1.90
40—50	12.8	24.34	9.67	—	21.85	2.00
50—60	15.1	29.43	—	—	—	1.93
60—70	17.3	34.29	10.56	—	22.00	2.00
70—80	19.4	38.68	—	—	—	2.00

風乾土水分含量 2.20%

42~58 厘米(粘壤土)

0—10	5.8	5.28	2.22	54.66	24.75	0.91
10—20	8.3	9.62	3.61	54.98	21.60	1.10
20—30	10.9	14.34	—	53.13	—	1.40
30—40	13.4	18.68	5.20	53.05	21.80	1.39
40—50	16.0	23.21	—	51.67	—	1.44
50—60	18.6	27.92	6.05	51.52	21.70	1.50
60—70	21.1	32.26	—	50.30	—	1.52
70—80	23.7	36.79	6.50	47.27	21.40	1.56
80—90	26.2	41.32	—	44.00	—	1.58

風乾土水分含量 3.47%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
58~64 厘米(壤土)						
0—10	4.6	4.15	2.16	54.48	17.15	0.89
10—20	7.5	7.74	3.13	49.52	16.95	1.03
20—30	10.4	11.32	—	46.27	—	1.10
30—40	13.2	14.91	3.57	40.34	15.00	1.08
40—50	16.0	18.30	—	—	—	1.12
50—60	18.9	21.89	3.72	—	14.65	1.16
60—70	21.8	25.47	—	—	—	1.19
70—80	24.7	29.06	3.84	—	14.59	1.21
80—90	27.6	32.64	—	—	—	1.19
90—100	30.4	36.04	—	—	—	1.20

風乾土水分含量 1.78%

64~74 厘米(粘土)						
0—10	6.9	3.40	0.80	57.26	17.45	0.49
10—20	11.2	7.17	1.34	53.69	18.61	0.64
20—30	15.6	10.57	1.46	51.01	17.74	0.67
30—40	20.0	13.96	—	49.75	—	0.65
40—50	24.4	17.40	1.61	48.81	17.80	0.71
50—60	28.8	21.13	—	46.59	—	0.75
60—70	33.1	24.72	1.85	46.27	18.40	0.73
70—80	37.5	28.30	—	40.80	—	0.88

風乾土水分含量 3.56%

74~140 厘米(壤土偏砂)						
0—10	3.8	3.58	2.16	56.16	13.1	—
10—20	5.9	8.30	5.29	52.34	17.7	0.92
20—30	7.9	12.83	7.02	51.75	18.3	1.41
30—40	10.0	17.35	—	50.32	—	1.52
40—50	12.1	22.08	8.94	50.52	19.3	1.83
50—60	14.2	26.60	—	49.36	—	1.85
60—70	16.2	31.13	9.86	47.60	19.8	1.94
70—80	18.3	35.66	—	46.98	—	1.94
80—90	20.4	40.38	10.50	46.80	19.8	2.00
90—100	22.4	44.91	—	42.20	—	2.00

風乾土水分含量 1.85%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
4. 河北省衡水小辛集輕壤土						
0~20 厘米(壤土偏砂)						
0—10	3.3	4.53	4.08	60.07	18.7	1.36
10—20	5.3	8.49	—	61.92	—	1.58
20—30	7.4	12.45	6.15	58.33	15.1	1.62
30—40	9.4	16.22	—	52.29	—	1.70
40—50	11.4	20.19	6.81	53.29	14.8	1.82
50—60	13.4	24.15	—	49.61	—	1.85
60—70	15.4	28.11	7.23	46.78	14.7	1.86
70—80	17.4	31.88	—	39.76	—	1.83

風乾土水分含量 1.21%

20~39 厘米(壤粘土)						
0—10	2.9	4.34	4.30	66.10	1.72	1.48
10—20	5.5	8.49	—	63.36	—	1.53
20—30	8.1	12.83	4.66	61.80	16.4	1.58
30—40	10.6	16.98	—	59.51	—	1.69
40—50	13.2	21.13	4.70	56.90	15.4	1.62
50—60	15.8	25.47	—	55.86	—	1.67
60—70	18.4	29.81	4.84	51.32	16.2	1.61
70—80	21.0	33.96	—	42.86	—	1.57

風乾土水分含量 2.02%

39~59 厘米(壤土)						
0—10	3.8	3.40	1.30	69.65	8.0	0.89
10—20	5.8	7.36	—	66.16	—	1.26
20—30	7.8	10.94	3.61	65.78	11.0	1.28
30—40	9.8	14.91	—	59.28	—	1.43
40—50	11.8	18.68	4.08	57.07	10.0	1.64
50—60	13.8	22.45	—	57.46	—	1.70
60—70	15.8	26.22	4.49	52.74	10.5	1.73
70—80	17.8	30.19	—	47.70	—	1.76

風乾土水分含量 1.32%

59~79 厘米(壤土偏粘)						
0—10	5.2	4.34	1.23	67.28	16.3	0.83
10—20	7.7	8.87	—	64.42	—	1.14
20—30	10.2	13.39	3.06	58.68	17.2	1.34
30—40	12.7	19.92	—	56.78	—	1.58
40—50	15.2	22.26	3.80	55.56	17.05	1.46
50—60	17.6	26.70	—	55.88	—	1.53
60—70	20.1	31.13	4.24	53.94	17.0	1.55
70—80	22.6	35.66	4.45	52.09	17.2	1.60

風乾土水分含量 1.94%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
79~106 厘米(壤粘土)						
0—10	7.3	3.77	0.78	60.60	19.10	0.51
10—20	12.2	7.74	1.18	60.28	19.87	0.64
20—30	17.2	11.70	—	55.33	—	0.65
30—40	22.1	15.85	1.49	53.30	20.2	0.68
40—50	27.0	19.81	—	52.01	—	0.72
50—60	31.9	23.77	1.42	50.53	18.75	0.74
60—70	36.8	27.74	—	49.76	—	0.75
70—80	41.6	30.57	1.64	48.25	20.10	0.73
80—90	46.6	35.85	—	48.69	—	0.76
90—100	51.5	39.62	1.74	44.09	20.20	0.76

風乾土水分含量 3.70%

106~163 厘米(粘土)						
0—10	11.0	3.96	0.417	58.81	20.7	0.355
10—20	19.6	8.30	—	55.56	—	0.44
20—30	28.2	12.26	0.605	53.40	21.8	0.43
30—40	36.9	16.60	—	51.07	—	0.44
40—50	45.4	20.76	0.665	51.56	22.3	0.44
50—60	53.8	24.91	—	49.69	—	0.45
60—70	62.2	29.06	0.697	46.91	22.46	0.47
70—80	—	—	—	43.50	—	—

風乾土水分含量 5.37%

163~190 厘米(壤土)						
0—10	6.1	4.71	1.87	54.86	21.40	0.77
10—20	9.4	8.68	—	53.11	—	0.92
20—30	12.6	12.64	3.13	50.81	21.65	1.00
30—40	15.9	16.60	—	48.35	—	1.07
40—50	19.1	20.37	3.61	48.02	20.65	1.05
50—60	22.3	26.22	—	46.40	—	1.18
60—70	25.5	28.30	3.88	43.61	20.80	1.12
70—80	30.8	34.72	—	39.31	—	1.15

風乾土水分含量 4.69%

## 5. 河北省衡水農業試驗站壤土

0~18 厘米(壤土)

0—10	4.1	4.34	2.52	62.53	19.60	1.05
10—20	6.4	9.06	4.49	61.42	21.30	1.41
20—30	8.6	13.40	5.42	58.80	21.40	1.51
30—40	10.8	17.92	—	55.70	—	1.79
40—50	13.0	22.45	6.76	50.18	21.10	1.69
50—60	15.2	24.90	—	50.48	—	1.59
60—70	17.4	31.32	7.12	48.45	20.60	1.82
70—80	19.6	35.85	—	43.12	—	1.84

風乾土水分含量 3.84%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
18~42 厘米(壤土)						
0—10	4.4	4.15	2.49	55.33	18.85	0.93
10—20	6.8	8.30	4.12	51.34	18.85	1.22
20—30	9.2	12.45	5.10	51.92	19.00	1.30
30—40	11.5	16.42	—	48.96	—	1.40
40—50	13.9	20.56	6.10	48.13	18.80	1.54
50—60	16.2	24.72	—	47.41	—	1.50
60—70	18.5	28.87	6.50	45.41	18.40	1.55
70—80	20.8	32.83	7.02	39.24	18.70	1.60

風乾土水分含量 2.97%

42~73 厘米(粘壤)						
0—10	4.2	4.34	2.75	58.43	20.4	1.03
10—20	6.2	8.30	4.62	57.68	19.5	1.34
20—30	8.3	12.64	5.95	55.51	19.9	1.45
30—40	10.4	16.79	—	53.47	—	1.67
40—50	12.4	20.76	7.18	52.97	19.6	1.61
50—60	14.5	25.09	—	51.44	—	1.78
60—70	16.5	29.25	8.12	50.11	19.8	1.82
70—80	18.6	33.58	—	45.51	—	1.83

風乾土水分含量 4.13%

73~114 厘米(粘土)						
0—10	12.9	3.58	0.309	53.65	20.5	0.278
10—20	24.2	7.36	0.374	51.61	20.8	0.310
20—30	35.0	11.13	0.384	50.82	20.8	0.314
30—40	46.2	14.91	—	48.99	—	0.300
40—50	57.2	19.24	0.455	46.32	22.2	0.330
50—60	67.0	22.45	0.452	45.02	21.8	0.330
60—70	—	—	—	41.18	—	—

風乾土水分含量 4.94%

114~150 厘米(粘壤)						
0—10	9.2	4.34	1.06	49.11	25.0	0.47
10—20	15.2	8.49	1.46	40.27	24.4	0.56
20—30	21.2	12.83	1.74	39.53	24.7	0.57
30—40	27.0	16.98	—	35.39	—	0.59
40—50	33.0	21.13	1.96	34.96	24.6	0.63
50—60	39.1	25.47	—	37.75	—	0.64
60—70	45.2	29.81	2.01	32.66	24.3	0.64
70—80	51.3	33.40	—	28.09	—	0.65

風乾土水分含量 4.49%



(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
河北省衡水小辛集北沼村粘土						
0~13 厘米(粘土)						
0—10	5.1	4.71	2.25	55.11	21.2	0.92
10—20	7.7	9.25	—	51.74	—	1.19
20—30	10.2	13.21	4.66	49.89	20.2	1.30
30—40	12.8	17.36	—	49.39	—	1.41
40—50	15.4	21.70	5.57	49.11	20.11	1.40
50—60	18.0	26.04	—	49.05	—	1.45
60—70	20.5	30.19	6.05	46.51	19.6	1.50
70—80	23.1	34.15	—	43.16	—	1.48
80—90	25.6	40.38	6.96	40.85	20.9	1.60
90—100	—	—	—	36.09	—	—

風乾土水分含量 2.68%

13~48 厘米(壤粘)						
0—10	6.0	4.72	2.03	52.58	23.52	0.78
10—20	9.2	9.06	—	55.22	—	0.98
20—30	12.5	13.77	4.00	50.84	23.00	1.08
30—40	15.7	18.11	—	50.39	—	1.20
40—50	18.9	22.45	4.62	50.58	22.40	1.22
50—60	22.2	26.79	—	49.72	—	1.18
60—70	25.4	31.32	4.97	46.29	22.32	1.24
70—80	28.6	35.47	—	45.10	—	1.25
80—90	31.8	40.00	5.19	41.41	22.20	1.29
90—100	—	—	—	35.50	—	—

風乾土水分含量 3.63%

48~60 厘米(壤土)						
0—10	6.0	5.28	2.00	57.58	24.8	0.81
10—20	8.9	10.20	—	54.99	—	1.12
20—30	11.6	14.53	4.08	50.00	22.4	1.28
30—40	14.4	19.06	—	50.73	—	1.36
40—50	17.3	23.96	4.92	50.46	22.3	1.35
50—60	20.0	28.30	—	49.27	—	1.40
60—70	22.9	33.02	5.52	48.62	22.2	1.50
70—80	25.7	37.74	—	45.43	—	1.48
80—90	28.4	42.26	5.74	43.93	24.3	1.50
90—100	—	—	—	40.00	—	—

風乾土水分含量 3.35%

(續表)

土管長度(厘米)	$t^{1/2}$	$Q(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$	$k/\sigma$	實驗值(%)	理論值(%)	$A^*$
60~68 厘米(壤粘)						
0—10	6.3	4.72	1.50	56.38	21.30	0.74
10—20	9.6	9.25	—	54.42	—	0.96
20—30	12.9	13.77	3.27	53.26	22.20	1.06
30—40	16.2	18.11	—	50.41	—	1.13
40—50	19.5	22.83	3.66	51.33	21.31	1.16
50—60	22.8	27.17	—	50.64	—	1.23
60—70	26.1	31.89	4.00	49.33	20.70	1.19
70—80	29.3	36.23	—	44.03	—	1.25
80—90	—	—	—	40.44	—	—

風乾土水分含量 3.26%

68~110 厘米(壤土)						
0—10	7.2	4.53	1.06	56.51	21.0	0.63
10—20	10.6	8.30	—	48.75	—	0.83
20—30	13.9	11.70	1.90	46.14	17.1	0.85
30—40	17.2	15.28	—	44.84	—	0.88
40—50	20.5	19.05	2.32	43.52	16.2	0.95
50—60	23.8	22.64	—	42.67	—	0.96
60—70	27.0	26.04	2.49	39.79	16.0	0.96
70—80	30.3	29.81	2.59	33.09	16.0	0.97

風乾土水分含量 2.73%

110~130 厘米(粘土)						
0—10	8.9	4.53	0.842	51.24	21.5	0.51
10—20	14.9	8.87	—	46.49	—	0.51
20—30	20.8	13.02	1.28	44.07	22.0	0.65
30—40	26.7	17.36	—	42.30	—	0.65
40—50	33.8	22.45	1.44	41.84	21.4	0.67
50—60	38.8	26.04	—	37.07	—	0.68
60—70	44.7	30.19	1.49	36.59	20.45	0.68
70—80	—	—	—	35.21	—	—

風乾土水分含量 3.06%

這樣  $(k/\sigma)^{1/2} = (Q/\sigma)\pi^{1/2}/[2(c_a - c_i)t^{1/2}] = (6.79/1.02) \cdot (1.772)/[2 \times 0.43 \times 5.6] = 2.43$ ，因此  $(k/\sigma) = (2.43)^2 = 5.9$ 。所以方程式(3)裏的積分的上限是  $x/2 [(k/\sigma)t]^{1/2} = x/2 [5.9 \times 31.4]^{1/2} = x/27.2$ ； $c = 0.02 + 0.43 [1 - p]$ ，在這裏  $p = (2/\pi^{1/2}) \times \int_0^{x/27.2} e^{-B^2} dB$ ，是自變數  $x/27.2$  的概率積分。 $p$  可以由 Peirce 的積分表上查出<sup>[22]</sup>。

將計算出來的水分含量與試驗上得來的水分含量畫在圖 3 上。

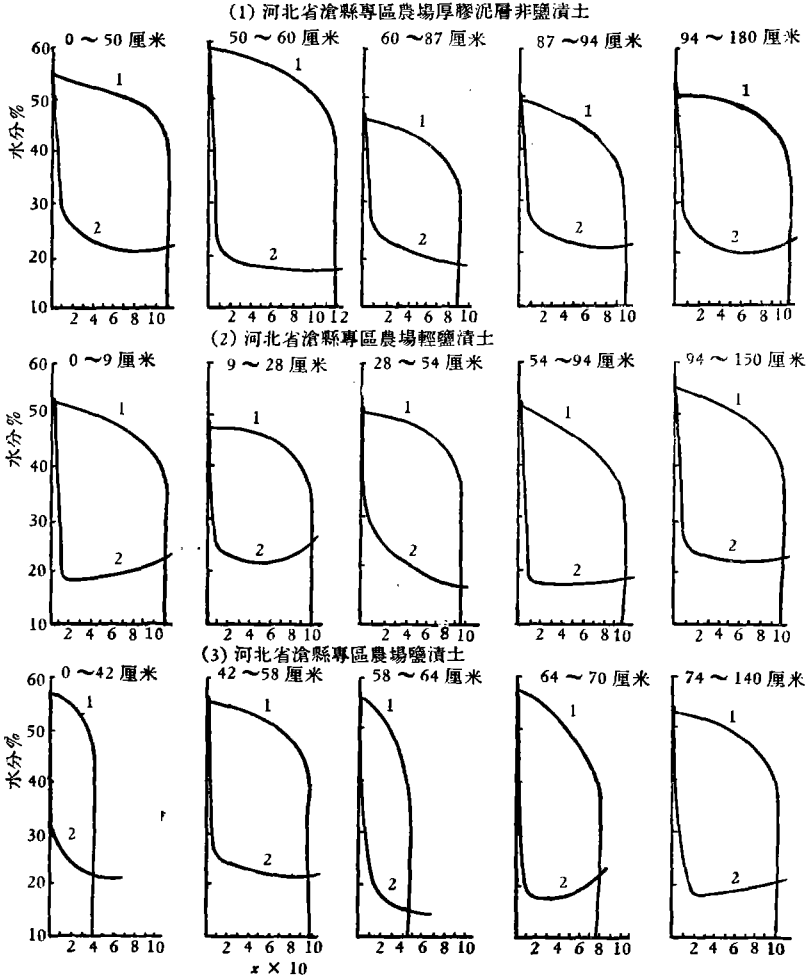


圖 3a 每 10 厘米土管的水分%的實驗值(1)與理論值(2)

從圖 3 上可以看出計算出來的水分分佈曲綫與試驗得來的不相吻合（不只是數值上不吻合），主要的差別是計算出來的曲綫凹面向上，而由試驗得來的曲綫的凹面是向下的。因此從這個事實可以得到一個結論，那就是擴散學說在毛管力下並不能解釋水從自由水的狀態下移入不被壓縮的風乾土的現象。

同時也要指出在 Childs 的論文中<sup>[5]</sup>在擴散學說的基礎上他曾得到了計算曲綫與試驗曲綫的相當的吻合，他所用的  $(k/\sigma)$  值約在 1—20 立方厘米/每天，是在重粘土的條件下，土壤水分的分佈的有效改變需要數月之久。Childs 的試驗好像是有一部分水是在汽

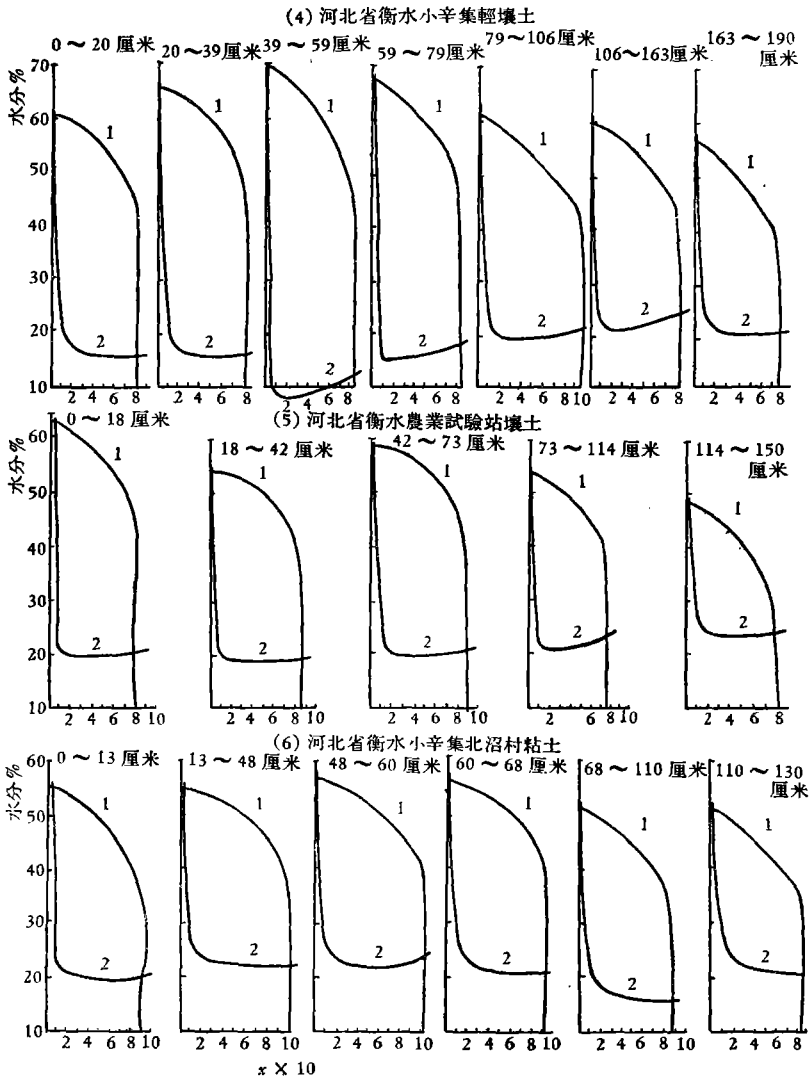


圖3b 每10厘米土管的水分%的實驗值(1)與理論值(2)

態狀態移動的,如果是這樣,那麼試驗所得到的結果就和計算出來的相吻合,這就可以應用擴散學說了。

一個具有穩固結構的土壤的 A 值是較高的[見方程式(5)及表 1],正是因為 A 和 B 都是彼此成正比的,它們任何一個都可以作為結構穩定性的標誌,同時在利用破壞了的標本時,而且是在水平方向測定的,所以裂隙及蟲穴的影響即可降低到最小程度。實際上, A 與 B 這二個常量,就是 Q 量與  $t^{1/2}$  以及 x 與  $t^{1/2}$  所繪成的直線的坡度。

A 在  $Q = At^{1/2}$  是隨  $(k/\sigma)$  的變動而變動的,並非常量(見表 1 末行)。

雖然擴散學說在解釋土壤水分在平行運動現象上不能從我們的這個試驗裏得到證實,可是在事實上不同的土壤剖面類型的層次中水的運動情況是可以由本試驗資料中看出的。

表2 河北省衡水小辛集輕壤土及粘土的土壤水分含量(%)

日期 深度 (厘米)	1955年									1956年					
	9/VI	11/VII	20/VII	31/VII	19/VIII	9/IX	2/X	17/XI	2/XII	2/I	3/III	2/IV	22/IV	23/V	22/VI
河北省衡水小辛集輕壤土															
0—18	3.2	16.2	9.6	16.6	19.6	16.6	12.7	10.9	11.3	10.2	8.4	10.8	7.5	7.3	18.4
18—40	6.0	18.6	14.1	19.9	23.3	19.5	21.7	17.8	17.3	16.7	19.3	17.4	17.1	18.0	21.1
40—60	13.0	22.0	20.0	23.7	26.3	25.8	25.7	23.7	24.3	25.0	23.7	25.7	24.8	24.6	24.7
60—80	14.6	20.6	21.4	13.6	28.2	26.4	28.4	27.5	26.5	27.3	23.6	28.5	28.8	26.6	26.9
80—110	24.6	31.9	29.3	30.2	29.7	28.6	31.1	29.2	30.1	29.8	31.1	29.9	28.5	29.6	28.9
110—160	33.5	34.6	33.1	35.3	32.0	31.9	32.1	32.2	34.0	33.3	35.2	33.8	32.0	32.1	32.7
160—190	32.3	31.7	30.8	30.9	32.7	31.0	28.9	29.9	31.4	31.0	31.2	28.7	28.5	30.2	30.5
河北省衡水小辛集北沼村粘土															
0—13	3.2	20.0	14.1	20.9	21.1	19.9	15.8	11.5	11.7	12.0	14.3	15.0	12.1	10.7	25.4
13—50	12.7	20.3	20.6	24.3	24.2	20.0	22.0	21.4	23.0	22.3	22.9	23.3	21.9	21.7	25.5
50—60	21.4	27.7	13.9	26.4	26.8	23.3	25.6	25.6	26.5	27.8	24.8	25.1	24.6	25.2	27.2
60—70	15.5	33.4	15.8	27.7	27.6	27.9	29.5	26.1	29.4	30.8	29.8	30.6	25.6	28.7	31.0
70—110	15.2	26.7	14.5	16.9	24.5	25.6	25.5	25.3	25.2	25.8	24.7	23.8	23.6	22.4	23.7
110—130	25.7	24.3	21.9	22.2	31.1	30.5	31.6	26.4	28.0	26.8	25.1	25.3	25.8	25.0	26.6

吳祖堂、李振聲在衡水地區的土壤水分記錄是很有意義的，他們研究了衡水小辛集降雨量對於粘土和輕壤土地下水埋藏深度和水分剖面變動的影響。採取土樣的粘土在1955年6月9日以前收穫小麥後，等雨種了晚玉米，1956年春種上了春谷子，谷子尚未十分成熟，因8月6日以後的大雨被淹，當年晚秋又趕種了麥子，1957年夏季收穫了麥子。取土樣的輕壤土在1955年6月9日以前收穫了小麥，該地的一部分種了晚玉米，一部分種了甘藷，秋耕耙耘，1956年種春玉米，秋被水淹，又趕種了秋麥，1957年收穫了麥子。從表2輕壤土的水分記錄可以看出，110厘米以上土層在1955年6月9日的水分含量最低，主要由於110厘米以上土層的土壤水分已被收穫的麥子所利用。6月9日未作地下水埋藏深度的記錄。從6月13日到7月11日降了128.6毫米的雨，其中最大的一次在7月9日，降了100.3毫米，由於這次大雨以及以前的零星小雨使剖面中水分增加，也增加了滲透速率，因此使7月9日的大雨很快直穿整個剖面，使剖面各層（110—190厘米除外）水分都有增加（見圖4），值得注意的是110—190厘米的水分並未增加。後來從7月27日到8月16日又降了158.1毫米，其中最大的一次是在8月13—16日共降123.2毫米。在7月31日的地下水埋藏深度距地面245厘米，8月13—16日的大雨使地下水埋藏深度在8月19日的記錄上昇到185厘米，這就說明8月13—16日的123.2毫米雨水不但滿足了剖面的要求也使地下水埋藏深度提高了60厘米。從8月19日直到11月17日雖不斷陰雨，但地下水埋藏深度平穩在183厘米左右，這說明表土的蒸發和作物的蒸騰基本上與剖面水分達到平衡，用不着消耗地下水。從12月2日到1956年3月3日除去0—18厘米土層外其他土層的水分變動不大，110—190厘米水分變動更小，地下水埋藏深度平均在201厘米，較前一時期約降低18厘米，其理由是由於剖面上部結凍，地下水部分上移，由於蒸發而丟失。從3月3日以後地下水埋藏深度繼續平穩下降，直到6月2日地下

水埋藏深度平均為 216 厘米，比上一時期又降低 15 厘米，這個時期是一年之中地下水埋藏深度最低的時期，這與天氣的乾旱及春夏季在地裏生長的作物的需水急迫是相吻合的。這也說明在這樣的土壤情況下，地下水埋藏深度在 222 厘米的水分是可以供給它上面的剖面的，但是問題在於這個供給是否够快，是否及時的問題，這主要的就決定於剖面中某一層或某兩層對於水在它或它們裏面運動時所遇的阻力。我們知道從 3 月 3 日到 6 月 2 日地下水埋藏深度雖比它前一個時期降低 15 厘米，可是這個水量不能滿足地上作物的需要。這說明水從地下水面向上運動的速度不够快。再從表 1 和圖 1 可以看出水在 110—160 厘米和 160—190 厘米的擴散率是很低的，它們平均比表層低 3 倍。

粘土剖面對於地下水埋藏深度下降的變動比輕壤土要敏感些(見圖 4 及表 3)。

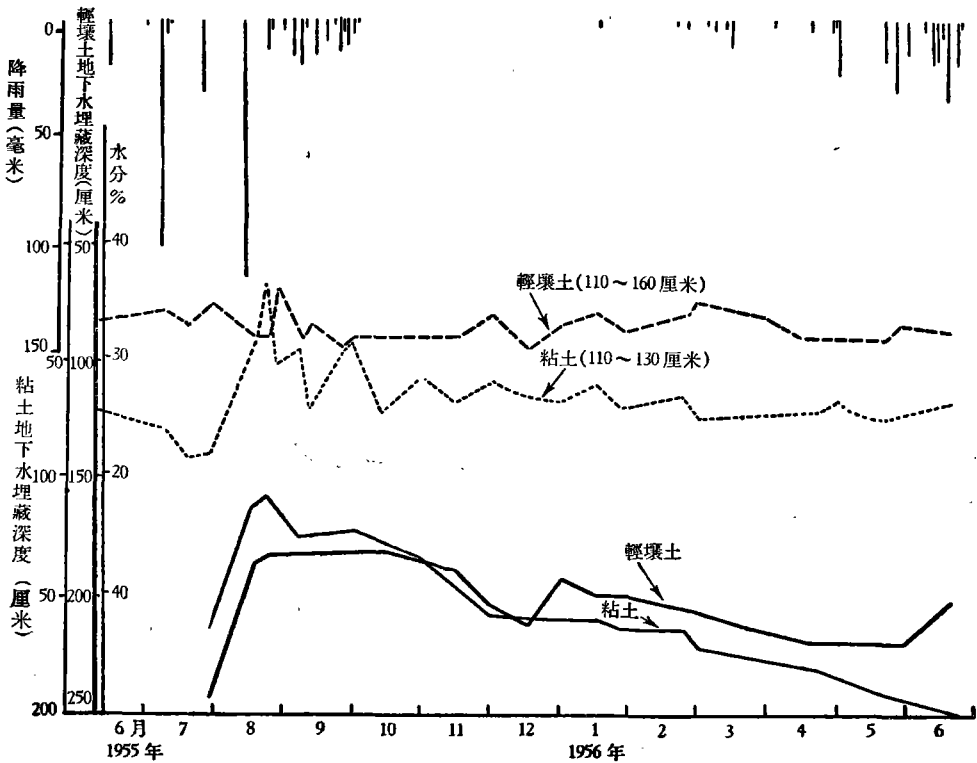


圖 4 河北省衡水小辛集降雨量及輕壤土和粘土中地下水埋藏深度的變動情況

表 3 剖面類型對於地下水埋藏深度變動的影響

土 壤	時 期	地下水埋藏深度(厘米)	降 低 (厘 米)
輕 壤 土	8/19—11/17	183.0	} 18.0
	11/17— 3/3	201.0	
	3/3 — 6/2	216.2	} 15.2
粘 土	8/19—11/17	121.4	} 36.9
	11/17— 3/3	158.3	
	3/3 — 6/2	180.0	} 22.0

由表 3 可以看出地下水埋藏深度在輕壤土和粘土剖面中變動的靈敏度是不同的，粘土剖面中地下水埋藏深度的變動靈敏度較大，另外，粘土剖面中 110—130 厘米層的水分含量隨地下水埋藏深度的變動而變動，其靈敏度比輕壤土中 106—163 厘米層要大得多。我們在前面的剖面描述中可以看到它們之間的區別。它們之間主要的區別是堅實度，粘土剖面中 110—130 厘米的堅實度是 11.1 斤/平方厘米，而輕壤土剖面的 106—163 厘米是 25.6 斤/平方厘米，相差一倍半，所以輕壤土剖面中水的運動率就受了這層堅實度很大的粘層所限制。從圖 4 中可以看出在 1955 年從 8 月下旬到 12 月中旬當粘土剖面中 110—130 厘米的粘層水分在驟變中下降，而輕壤土剖面中 110—160 厘米層却很平穩的下降。與輕壤土剖面的地下水埋藏深度相似，輕壤土剖面中 110—160 厘米層的水分變動也是緩慢而不靈敏的。

剖面中水位變動的靈敏性與剖面肥力有什麼關係，本文不能提供資料，但據瞭解和產量記錄在衡水一帶粘土的肥力是比輕壤土高。粘土宜種小麥，輕壤土宜種棉花，一般來說農民們喜歡粘土，可能是地下水埋藏深度變動的靈敏性和粘土剖面中的堅實而透性小的粘層使水分在秋冬季節變動的靈敏性較大有關。

當然地下水埋藏深度的變動不只是受上面所說的因素所限制，水在剖面中垂直向上移動問題也將在另文中討論。

### 參 考 文 獻

- [ 1 ] Buckingham, E., 1907. Studies in soil moisture movement. U. S. Dept. Agr. Bur. Soils Bul. 38.
- [ 2 ] Bruce, R. R. and Klute, A., 1956. The measurement of soil moisture diffusivity. Soil Science Society of America Proceedings. 20:458—462.
- [ 3 ] Carslaw, H. S., 1921. The mathematical theory of the conduction of the heat in solids. MacMillan and Co., London.
- [ 4 ] Childs, E. C., 1936. The transport of water through heavy clay soils. I, III. *Jour. Agr. Sci.* 26, 114—141, 527—545.
- [ 5 ] Childs, E. C., 1938. The movement of water in heavy soils after irrigation. *Soil Science* 46, 95—106.
- [ 6 ] Gardner, W. and Widtsoe, J. A., 1921. The movement of soil moisture. *Soil Science* 11, 215—233.
- [ 7 ] Gardner, W., 1936. The role of capillary potential in the dynamics of soil moisture. *Jour. Agr. Res.* 53, 57—61.
- [ 8 ] Keen, B. A., 1931. The physical properties of soil. Longmans, Green and Co., London.
- [ 9 ] Kirkham, Don and Feng, C. L., 1949. Some tests of the diffusion theory, and laws of capillary flow in soils. *Soil Science* 67, 29—40.
- [ 10 ] Klute, A., 1952. Some theoretical aspects of the flow of water in unsaturated soils. Soil Science Society of America Proceedings. 16, 144—.
- [ 11 ] Miller, E. E. and Miller, R. D., 1955. Theory of capillary flow. I. Practical application. Soil Science Society of America Proceedings. 19, 269—.
- [ 12 ] Miller, R. D. and Miller, E. E., 1955. Theory of capillary flow. II. Experimental information. Soil Science Society of America Proceedings. 19, 271—.
- [ 13 ] Nicholson, M. A. and Childs E. C., 1936. The transport of water through heavy clay soils. II. *Jour. Agr. Sci.* 26, 128—142.
- [ 14 ] Ostasher, N. A., 1936. The law of distribution of moisture in soils & methods for the study of the same. Internatl. Conf. Soil Mechanics and Found. Engin Proc. I (Sect. K), 227—229.

- [15] Philip, J. R., 1957. Theory of infiltration. *Soil Science* **83**, 356—.
- [16] Richards, L. A. and Wadleigh, C. H., 1952. Soil water and plant growth. *Soil Physical Conditions and Plant Growth* pp.85. Academic Press INC., Publishers New York, N. Y.
- [17] Роде, А. А., 1952. ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА, Издательство Академии наук СССР, Москва.
- [18] Swartzendruber, D., De Boodt, M. F., Don Kirkham, 1954. Capillary intake rate of water and soil structure. *Soil Science Society of America Proceedings*, vol. 18, 1—7.
- [19] Swartzendruber, D., 1956. Anomalies in capillary intake as explained by capillary rise experiments. *Soil Science Society of America Proceeding*, vol. 20, 453—.
- [20] Schack, A., 1933. Industrial heat transfer. (Translated from German by Hans Goldschmidt and E. F. Partridge.) John Wiley and Sons, Inc., London.
- [21] Wadleigh, C. H. and Richards, L. A., 1953. Soil moisture and mineral nutrition of plants. *Truog, Mineral nutrition of plants. The University of Wisconsin Press*, 1953, 422.
- [22] 徐桂芳編譯：積分表。科學技術出版社，1953。
- [23] 譚錫疇編：中國地質圖說明書（北京濟南幅）。地質調查所測製，1924。

## SOIL MOISTURE PROBLEMS OF NORTH CHINA PLAIN AND ITS ASSOCIATED AREAS

### I. The Mechanism of Moisture Diffusion in Soil and Profile Impedance to Movement of Soil Moisture

(SUMMARY)

C. L. FENG AND CHEN LING-I

(*Soils & Fertilizer Institute, The Chinese Academia of  
Agricultural Science, Peking*)

I. Soil moisture problems in the North China Plain and its associated areas were grouped into five categories according to the mode of soil moisture loss.

II. The diffusion theory does not account for the movement of moisture, under capillary forces, from free water into an uncompressed air-dry soil.

III. The rate of diffusion of moisture in soil samples from the heavy clayey horizons was correlated with penetration pressure of horizons. The rate of diffusion in horizontal soil columns was lower in samples from horizon or horizons with higher penetration pressure ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

IV. The frequency of fluctuation of water table in heavy clayey profiles also bore certain relationship with the penetration pressure of the heavy clayey horizon or horizons in the lower position of the profile.