

埤畦灌溉方法之研討

Study and Discussion on the Border Irrigation Method

臺灣大學農工系研究助理

吳 純 宏

一般的密植作物，一些行栽作物和一部分地形，土壤條件合適的果園，皆可應用田埂間灌溉法。

一、田埂間灌溉法的發展

在1913年 Parker P.A. 首先假定土壤的滲入率 (Intake rate) 是一定不變的，

$$I = C$$

$$D = \int I dt = ct$$

由於這種假設，因此在一定時間內，水流預計的前進長度 (Advance length) 往往大於實際的。

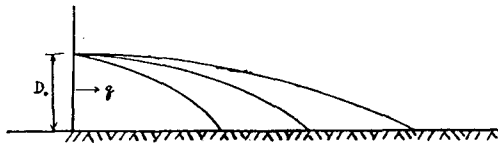
到了1938年，Lewis M.R. 和 W. E. Milne 考慮土壤滲入率是一項時間的函數；

$$I = f(t)$$

$$D = \int f(t) dt$$

並假定田面水深是一定值。結果，預計的水流前進長度與田間實際者非常接近；不幸的是，由於所用的土壤滲入率表示法和數學的解法太複雜，而不能廣泛的應用。

1956年，Hall W. A. 假定田埂間的水剖面 (Water Surface Profile) 構成一族交於田首的曲線 (圖1)，而且田面的平均水深是一定的 (田首水深乘一個常數 0.5~1.0)，來預計水流的前進曲線 (Advance curve)。



圖(1) 田埂間水流剖面

1958年，霍雨時利用滲入率的双重積分法；以滲入率對時間双重積分之，然後再以時間除之，得到一定時間內，土壤滲入的平均水深。

$$I = kt^n$$

$$a = \frac{k}{n+1} t^{n+1}$$

$$D_a = \frac{k}{(n+1)(n+2)} t^{n+1} \dots \text{滲入平均水深}$$

則前進曲線可用下式表示矣。

$$L = \frac{Qt}{W(D_s + \frac{k}{(n+1)(n+2)} t^{n+1})} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

式中 W = 田埂間寬度

D_s = 田埂間平均水深

$\frac{k}{(n+1)(n+2)} t^{n+1} = D_a =$ 田埂間平均土壤滲入水深

遺憾的是上式水考慮退水時間 (Ression time)。

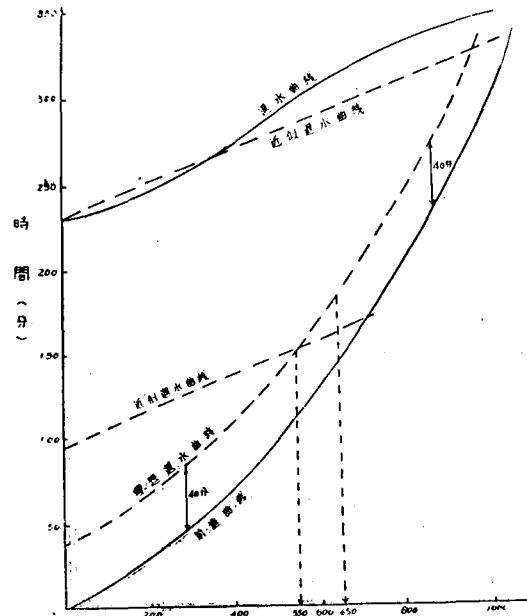
1959年，Kiefer F. W. 認田埂間平均土壤滲入水深非為

$D_a = \frac{k}{(n+1)(n+2)} t^{n+1}$ ，而需乘一係數“F”(1.0~2.0)

則田埂間實際平均土壤滲入水深為

$$D_{a1} = \frac{KF}{(n+1)(n+2)} t^{n+1}。$$

1964年，霍雨時又提出一種以前進曲線與退水曲線 (Ression Curve)，求適當田區長度的圖解法如下：



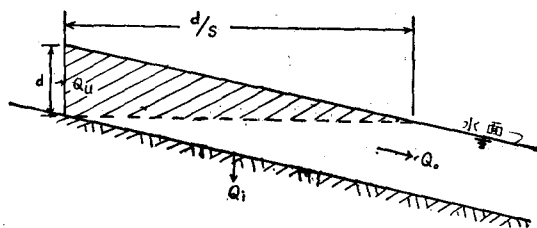
此流量之下，適當流長為650呎
圖(2) 田區適當長度之圖解法

1964年, D.G. Shockley 等提出“半理論性的田埂間灌溉設計法”(A Quasi-rational method of Border Irrigation Design), 基於兩種假設: 第一、引入田埂間的水量等於田埂間面積乘平均施灌水深; 即 $V=100LF_n/12E$ 。第二、田首的滲入時間等於土壤吸收淨施灌水深的時間, $V=Q_u(T-T_2) \times 60$ 。則得下式:

$$L = \left\{ \frac{7.2E}{F_n} \right\} T Q_u - \left\{ \frac{7.2E}{F_n} \right\} \left\{ \frac{Q_u^{1.2}}{120 \left(\frac{1.486}{n} \right)^{1.2} S^{1.6}} \right\} \dots\dots\dots ②$$

- 式中 E : 田間灌溉效率 (%)
 F_n : 淨施灌水深 (吋)
 T : 吸收淨施灌水深之時間 (分)
 Q_u : 每呎寬田埂間之流量 (cfs)
 n : 水力粗糙率
 S : 田間坡度 (%)

D.G.Shockley 等亦提出退水延期時間的觀念。假設



圖(3) 田間退水情形

當上圖陰影部分的水量消失後, 退水就算開始, 則退水延期時間 $T_L = \frac{d^2/2S}{60Q_u}$, 故所須施灌時間 = T (滲入淨施灌水深時間) - T_L (退水延期時間)。

二、我們討論的主題

由上面知道, 影響田埂間灌溉的因素有下列幾項:

1. 坡度: 依水力學的觀點, 坡度大, 水的流速快, 灌溉水可能很快就流到田尾; 若坡度過大, 則會發生地面逕流, 灌溉反而不均, 大量的水流失, 故平緩的田區, 灌溉效率大於坡度陡的田區。
2. 作物的種類, 生長期: 各種作物種植的疏密程度各有不同, 同一種作物, 不同生長期, 其疏密程度亦不同。因此, 田埂間之水力粗糙率亦不同, 水流速度就各有差異了, 若其他條件不變, 則較疏的作物, 其灌溉效率較佳。還有, 不同的作物及不同的生長期

, 其根深不一, 施灌水深不等, 則深根作物可得較佳之灌溉效率。

3. 土壤特性: 滲入率依土壤特性而變, 而滲入率又是影響灌溉效率之主要因子, 我們知道, 滲入率中等的土壤其灌溉效率較滲入率低或高的土壤為高。

4. 整地的優劣: 整地良好的田區, 其灌溉效率較高, 整地差的, 其效率較低。雖然有一套良好的田埂間灌溉設計, 若管理不當, 難收預計之灌溉效果, 故灌溉管理不可不加以注意。

到目前, 我們確知田埂間灌溉是一種不穩定, 非等速的明渠水流, 但它的一些水力特性, 還不能十分確定, 要想應用純理論的方法解析是不可能的。

田埂間灌溉, 不外是調整流量的大小, 以適合於土壤的滲入特性, 田面的坡度, 田區的長度, 使田埂間的每一部分皆能有相等的浸水時間, 即有相等的滲入機會, 則可達到均勻的灌溉, 經濟的用水。

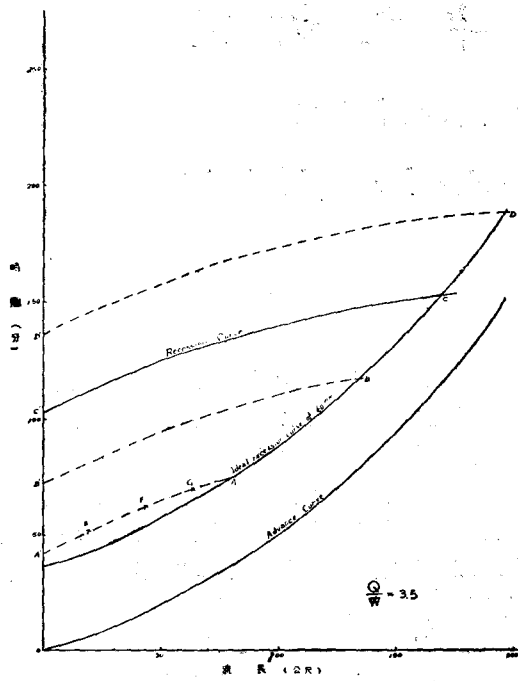
純理論性的解析方法, 必須下列各項為已知:

1. 土壤的滲入特性。
2. 田埂間水脈前進率。
3. 斷水後, 田埂間水的退水率。

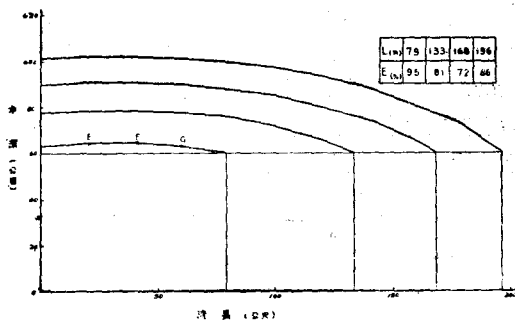
前兩項可以用試驗或霍雨時氏所提方法求得, 唯獨退水率不能得到滿意的估計, 故目前不得不應用半圖解的方法

茲介紹另一種半圖解法如下:

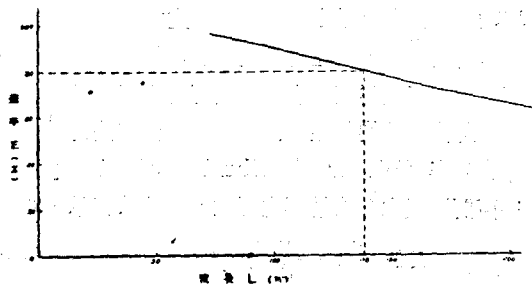
1. 以流長為橫座標, 時間為縱座標 (圖4) 繪出某 Q/W 之前進曲線, 退水曲線, 理想退水曲線 (某特定的施灌水深)。
2. 將退水曲線平行移動幾個位置, 交理想退水曲線於 A.B.C.D 各點。
3. 以 AA' 為例, 在 AA' 曲線上, 選任意凡幾 E F.G。則各點之流長, 相對時間之滲入水深皆為已知。
4. 再在另一以流長為橫座標, 水深為縱座標之圖上 (圖5) 繪出各點, 圍成一多邊形, 以施灌水深, 流長為邊圍成一矩形。
5. 則矩形面積與多邊形面積之比, 即為此流長之灌溉效率餘此類推。
6. 最後在以流長為橫座標, 效率為縱座標的圖上 (圖5) 繪出流長灌溉效率曲線。
7. 則一定灌溉效率, 某特定施灌水深的田區之適當流長可求得。
8. 最後綜合得到實際應用之圖表 (圖7)



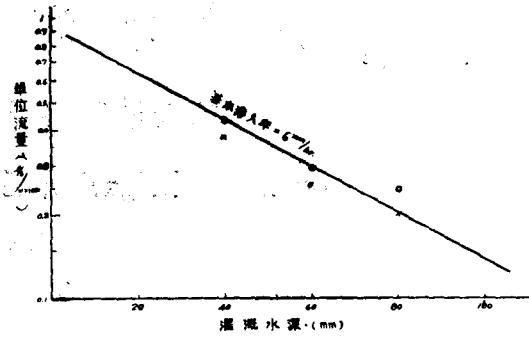
(圖4)



(圖5)



圖(6) 流長灌溉效率曲線



圖(7) 田埂間單位流量與灌溉水深曲線

從理論上知道，若坡度，基本滲入率相同，則不論 Q/W 為何數，當施灌水深相同時，其 q （田埂間單位流量）應相等，但下表則不然，概因整地不一致所影響。

茲錄新港的試驗結果如下：

Q/W	灌溉效率 (%)	灌溉水深 (mm)	適當流長 (m)	單位流量 ($e/s/m \times 10m$)
2.0	80	40	23.5	0.851
2.0	80	60	60	0.333
2.0	80	80	112	0.179
3.5	80	40	92	0.380
3.5	80	60	138	0.254
3.5	80	80	177	0.198
5.0	80	40	121	0.413
5.0	80	50	177	0.222
5.0	80	80	204	0.245

由上表可看出，深根作物之田區宜長，而淺根作物則不宜太長，且不論深根或淺根作物，田區愈短，效率愈高。

新港試驗結果發生兩種不正常的現象，第一 $Q/W = 2.0$ 的退水曲線之前一小段，其坡度為向下，即 dt/dD 為負值，此實不可能；可能因為整地不良，流量太小，底層土壤之影響。第二、 $Q/W = 6.5$ 的前進曲線與退水曲線幾乎相平行，意味着不論距離多長，其灌溉效率皆為100%，此似不可能，實有待今後之試驗引證。

一般言之，農民喜用較寬之田埂間寬度，以便工作。但若 Q/W 為一定值，而田埂間寬度增加，則流量也隨着增加，則結果 Q （流量）必大，田首冲刷亦嚴重，故田埂間寬度應加限制，不可太寬。田埂間寬度亦隨坡度，土壤特性等因素而變，一般以10公尺左右較適當。

討論：

1. 退水曲線應如何求得精確。

退水曲線是否精確，繫乎觀測點退水時間之觀測。

(下接第27頁)