

鹽分地淋洗模式之研究

Field Studies on Leaching Models in Salt-affected Soils

臺灣糖業研究所
農藝系副研究員

王百祿

Wang, P. L.

臺灣糖業研究所
農藝系主任

楊柏椿

Yang, P. C.

臺灣糖業研究所
農藝系副研究員

張玉鑽

Chang, Y. T.

摘要

本試驗之目的在於探討適合本省鹽分地淋洗之模式，以供今後鹽分地改良規劃及管理之參考。試驗地點設於佳里糖廠七股農場及蒜頭糖廠鰲鼓農場，試驗結果摘述如下：

兩試驗區土壤，經灌溉水淋洗後，土壤飽和抽出液電導度隨灌溉水量之增多逐漸遞減，土壤交換鈉之脫除亦隨溶解性鹽類同時下降，從脫鹼淋洗曲線圖可知欲改良這種土壤不必另外添加任何化學改良劑如石膏或石灰。

使用 Van der Molen, Reeve, Terkeltoub and Babock 及 Dieleman 等四種理論模式預估鹽分淋洗之淋洗率與田間實測之淋洗率比較，經統計分析結果以 Dieleman 模式之相關係數最佳，今後有關中質地土壤鹽分之淋洗，似可根據 Dieleman 模式預估鹽分之變化及獲得最經濟淋洗之灌溉水量。

Abstract

Leaching experiments were conducted on saline sodic soil at Chiku and Aoku plantations. The purpose of this study was to determine the leaching curves for a salt affected soils and the applicability of theoretical and empirical models for predicting salt removal from the soil during leaching in Taiwan.

Desalinization proceeds rapidly under leaching. Although the exchangeable sodium percentage (ESP) of soils before leaching were very high, the soils were still saline in nature because they contained a large amount of lime. For this reason, the ESP decreased simultaneously with salt content during leaching process. From the desodification leaching curve, it is concluded that in reclamation of these soils there is no need of the application of any amendment such as gypsum or lime.

Different theoretical models were tested by comparing the calculated and experimental leaching fractions. The results indicated that there was a good agreement between theoretical and observed leaching fractions. It was showed that Dieleman's model was the most satisfactory for predicting the amount of water needed for amelioration and salt removal from medium textured soil during leaching.

前 言

良好品質之灌溉水係改良鹽分地主要之工具。改良鹽分地，第一，需有足夠之水淋洗土壤中溶解性之鹽分。第二，要有良好排水系統，降低地下水位，防止鹽分上升。第三，鹽分地如含有過高之交換性鈉，需以鈣質置換。臺灣鹽分地經灌溉淋洗後，大多數皆變為正常土壤，甚少變成無鹽鈉土 (Non saline sodic soils) ^(1,3)。鹽分地改良必須洗鹽，則用水若干即可將鹽分降至 4 毫姆歐 (mmhos/cm) 以下，淋洗過程中，土壤鹽分變化與理論值是否符合，最經濟淋洗水量究竟多少，均為目前所關切的主要課題。國外學者對此方面研究甚多，Talsma⁽¹⁷⁾ 報告指出，暗管系統之設計會影響淋洗需水量 (Leaching requirement)，當 300 公厘清水入浸於間距 27 公尺暗管時，在支管頂部之土壤約有 74% 之鹽分被淋除，但在兩暗管中點位置，鹽分淋洗量僅有 20%，另外田區當 220 公厘清水入浸於間距 20 公尺暗管時，支管頂部及兩暗管中點約有 73% 與 55% 之鹽分被淋洗。據美國鹽土研究所 (U. S. Salinity Laboratory) 與 Utah 農業試驗所合作於 Utah 舉辦淋洗試驗⁽¹⁵⁾，以含有鹽分 2.7% 之土壤試驗，以一呎水淋洗者，表土鹽分減至 0.9% 以下，以二呎水淋洗者，表土鹽分減至 0.6% 以下，以四呎水淋洗者，表土鹽分減至 0.3% 左右，至於三呎以下之底土，則所含鹽分量甚高，不論用水若干，其鹽分含量相差無幾，在 0.7 至 1 % 之間。Dieleman⁽⁶⁾ 認為土壤淋洗時，土壤鹽分之變化與理論值相較頗為符合。本省地狹人稠，土地面積增加有限，近年來由於工商業發達，經濟快速成長，人口急遽增加，都市迅速擴展對土地及用水之需求日益增加，因此農業用地及用水隨之成為轉移其他用途之對象，由於各行業彼此之間相互競爭，將迫使未來之農業走向利用貧瘠土地及受污染低品質之水源，面對日漸減少之灌溉水源和改善土質之工程逐漸遞增的鉅大費用，如何以最經濟水量淋洗，求得最大效益，成為目前急需瞭解及解決之問題。本試驗之目的即在探討適合本省中質地鹽性鈉土淋洗之理論模式與淋洗曲線，俾供將來擬定改良計劃，水源分配管理之參考，使鹽分地之改良能於最經濟環境下，獲得較高之經濟效益。

材料與方法

本試驗設置於佳里糖廠七股農場 16 號地及蒜頭

糖廠鰲鼓農場 5 號地。試驗開始以前，首先挖取土壤剖面，調查並記錄各土層深度、質地、構造、另外以內徑 5.1 公分體積 100cc 不銹鋼土樣管採不同土層之自然土樣，各土層均為五重覆，測定飽和及利用土壤水分抽出裝置 (soil moisture extractor) 測定 0.1 與 0.3 巴 (bar) 張力下所排除之含水體積。土壤機械成分 (Mechanical analysis) 以比重計法 (Hydrometer method) 測定，土壤質地係依照美國農部⁽¹⁵⁾ 方法辨別。土壤酸鹼度值以玻璃電極式 pH 測定儀測定。土壤鹽分則用電導度測定儀 (Electrical conductivity bridge) 測定土壤飽和抽出溶液，並以 25°C 時之電導度毫姆歐 (mmhos/cm) 表示。

土壤鹽分淋洗係以圓筒法 (Cylinder method) 測定，這種方法在田間測定不但簡單方便而且與田間實測值頗為符合⁽⁶⁾。本試驗係採用內徑 40 公分，高度 60 公分，無底圓筒，試驗時選擇較具代表性之位置，將圓筒水平用力壓於地表上，使其平整穩固，將鐵墊板放於圓筒上，以鐵錘在墊板上各方向輪流夯打，宜注意筒壁與土壤間不得有間隙，使圓筒平均垂直入土，打入土深度為 15 公分，圓筒外側各案內徑 100 公分土堤作緩衝池。當試驗開始時，圓筒內與緩衝池皆加水 160mm，然後以黑色塑膠布覆蓋，防止水分蒸發。七股試區淋洗前及淋洗後採土樣，每層 20 公分 (鰲鼓試區每層 25 公分)，採至 100 公分，測定淋洗前及淋洗後之土壤水分。所採土樣陰乾後以 2m/m 篩子過濾，分析電導度、鈣、鎂及鈉。土壤鈣、鎂及鈉離子係參照美國鹽土研究所⁽¹⁵⁾ 規範測定。土壤吸鈉比 (sodium adsorption ratio) 係根據式(1)計算⁽¹⁵⁾：

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \dots \dots \dots (1)$$

土壤交換性鈉百分率 (Exchangeable sodium percentage) 係按照王世中氏研究報告中所列公式⁽¹⁾ 計算，適用於砂岩泥岩質鹽漬土 (salted Sandstone-mudstone soils)

$$ESP = \frac{100(0.0312 + 0.01187SAR)}{1 + (0.0312 + 0.01187SAR)} \dots (2)$$

結果與討論

一、土壤理化特性

七股及鰲鼓試區土壤質地，容積重，電導度及可溶性陰離子等理化特性列於表一。表一明顯指出

，兩試驗區土壤質地均屬於粉質壤土。粉粒含量較高，七股試區最高達72%，最低68%，鰲鼓試區最低59%，最高亦達65%，土壤粒子間之排列十分緊密，並無明顯構造，而在重力影響下，所能排除於土體之水量稍少，土壤內部排水狀況極劣。鰲鼓試區由於受到毛細管上升（Capillary rise）影響，淋洗前土壤剖面表土之飽和抽出液電導度高達40.5毫姆歐，心土飽和抽出液電導度介於28至31毫姆歐之間，但 pH 值僅介於8.1至8.3之間。七股試區淋洗前土壤剖面表土之飽和抽出液電導度略低於

下層土壤，pH 值在7.6至8.0之間，兩試驗區之資料如依照美國鹽土研究所⁽¹⁵⁾之分類標準，皆屬於鹽性鈉土（Saline sodic soils）。可溶性各陽離子中，兩試區均以鈉最高，鎂次之，鈣及鉀又次之，陰離子中以氯離子及硫酸根為主體，碳酸氫根極低，碳酸根則不存在。可見此類土壤所含可溶性鹽類中，以氯化鈉為主，硫酸鈉次之，這種鹽類溶解性很大，只需充足水量淋洗及良好排水系統以降低地下水位，防止鹽分上昇，就可化不毛之地成為可耕地。

表一、試驗區土壤剖面理化特性

區 別	深 度	機 械 分 析			容 積 重	電 導 度	陽 離 子 (me/l)				陰 離 子 (me/l)					
	(公分)	砂粒 (%)	粉粒 (%)	粘粒 (%)			質 地	(g/cm³)	(毫姆歐)	pH	ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Hco ₃ ⁻	cl ⁻
七 股	0—20	22	68	10	粉質壤土	1.50	36.6	7.6	35.90	71.79	320	3.50	2.40	446.85	23.0	0
	20—40	18	72	10	粉質壤土	1.63	27.9	7.8	30.77	46.15	230	3.00	2.20	327.69	20.0	0
	40—60	20	70	10	粉質壤土	1.59	44.5	7.7	61.54	71.79	380	4.50	1.00	536.22	44.0	0
	60—80	22	72	6	粉質壤土	1.52	42.0	7.9	46.15	71.79	360	4.50	0.80	496.50	34.0	0
	80—100	6	68	26	粉質壤土	1.48	39.6	8.0	39.90	41.02	255	3.50	0.80	337.62	26.0	0
鰲 鼓	0—25	28	65	7	粉質壤土	1.58	40.5	8.1	45.52	60.70	365	3.50	1.50	426.99	41.0	0
	25—50	26	65	9	粉質壤土	1.63	29.5	8.3	35.41	65.75	265	2.50	1.80	357.48	21.0	0
	50—75	34	59	7	粉質壤土	1.50	31.0	8.2	35.41	75.87	250	2.50	1.30	332.66	22.0	0
	75—100	32	61	7	粉質壤土	1.49	28.0	8.2	35.41	65.75	235	2.50	1.30	327.69	20	0

二、脫鹽 (Desalinization)

鹽化後之土壤，由於雨水之淋洗或灌溉水之沖洗，即可使土壤鹽分離開土壤，此為土壤學者所稱之脫鹽作用。本試驗將單位土層平均淋洗水深 $\frac{DW}{DS}$ 與相對鹽分濃度 $\frac{EC-ECeq}{EC_0-ECeq}$ 之關係繪成圖一。圖一顯示，單位土層平均淋洗水深與相對鹽分濃度成直線負相關，經統計分析結果，相關係數 $r=-0.9169$ 達1%極顯著水準，其直線迴歸方程式如下：

$$EC-ECeq/EC_0-ECeq=$$

$$0.4742e^{-1.5258(\frac{DW}{DS})} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

DS = 土層之厚度 (公分)

DW = 淋洗之水深 (公分)

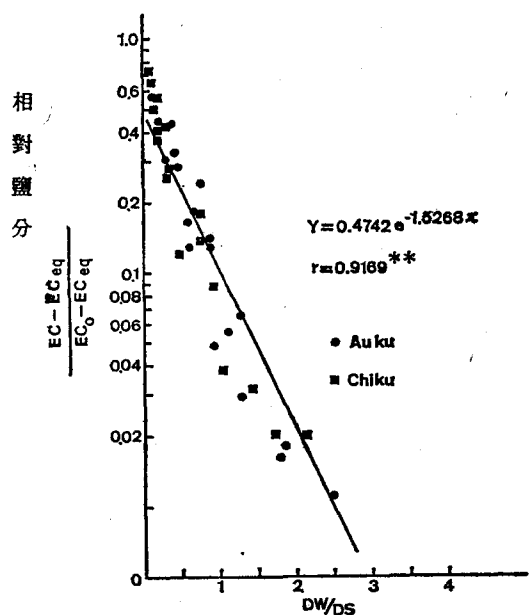
EC₀ = 淋洗前土壤飽和抽出液電導度 (毫姆歐)

EC = 淋洗後土壤飽和抽出液電導度 (毫姆歐)

ECeq = 鹽分平衡後，表土5公分飽和抽出液之電導度 (毫姆歐)

由上述公示顯示，土壤鹽分之遞減係隨淋洗水量之增加而降低，當單位土層平均淋洗水深達到1時，則約有90%鹽分被淋除，即100公分土層將從不毛之地化為蔗作適地。由以上結果顯示，以脫鹽淋洗曲線圖做為估計鹽分地淋洗需水量之指標，相當可靠。Khosla⁽⁸⁾等人試驗結果指出，單位土層平均淋洗水深與相對鹽分成直線負相關，與本試驗結果大致相符合。Nielsen⁽¹³⁾等試驗報告指出淋洗曲線之形狀主要受土壤特性所影響，其他入滲水流之速度亦顯著影響淋洗曲線之形狀。Khosla⁽⁸⁾等氏之研究亦指出，欲使單位土層之鹽分減少80%，需使0.4公分之水通過每公分之土層。Dieleman⁽⁶⁾等人在伊拉克之試驗報告謂 Dujailah

地區表土60公分之壤土其鹽分含量欲降至淋洗前之10%，只需35公分淋洗之水，但在 Annanah 地需190 公分之水，主要差異在於土壤質地不同所致。Van der Molen ⁽²⁰⁾ 報告指出一個孔隙 (Pore Volume) 量可淋洗50%之氯。Gardner 和 Brooks' ⁽⁷⁾ 試驗分析亦指出1.5孔隙量時，[約有80%鹽分被脫除。Khosla ⁽⁸⁾ 報告顯示，以0至90公分平均容積含水量 $0.35\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 做為一個孔隙時，有75%鹽分被淋洗。本試驗若以0-100公分平均容積含水量 $0.40\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 做為一個孔隙時約有75.5%鹽分被淋洗。一般在田間鹽分淋洗方法可分為連續浸水 (Continuous Ponding) 與間斷浸水 (Intermittent ponding) 兩種方式，據 Nielsen ⁽¹³⁾，Miller ⁽¹²⁾，Talsma ⁽¹⁷⁾ 及 Dahiya ⁽⁵⁾ 等人報告指出，間隔淋洗之效率大於連續浸水，亦即連續浸水欲脫除單位重量之鹽分需使用較多之淡水，這一點在本省濱海地區，水資源貧乏地區頗為重要。



單位土層平均淋洗之水深
Depth of leaching water per unit depth of soil
圖一、脫鹽淋洗曲線圖

Fig. 1. Desalinization leaching curve

三、脫鹼 (Desodification)

鹽分地土壤通常含有多量之交換性鈉，當洗鹽時，交換性鈉百分率有時會上昇，因而使土壤酸鹼度值昇高及土壤物理性質變劣，形成交換性鈉問題。所謂交換鈉問題為其在總交換性陽離子中所佔的

百分率。美國鹽土研究所認為交換性鈉百分率在15以上者成為鹼土，此數值為鹼土與非鹼土之臨界點。在交換性鈉較高鹽分地，通常均施用石膏改良，因施用化學改良劑必須投資，在經濟效益有利可圖時方值得大面積推廣。

兩個試驗區原本含有較高之交換性鈉，經淋洗後，將單位土層平均淋洗水深 DW/DS 與相對交換性鈉百分率 ESP-ESPeq/ESPo-ESPeq 之資料，經相關分析結果如圖二。圖二脫鹼淋洗曲線圖明顯指出，單位土層平均淋洗水深與相對交換性鈉百分率成直線負相關，跟脫鹽淋洗曲線相似，經統計分析結果其直線迴歸方程式如下：

$$\text{ESP-ESPeq/ESPo-ESPeq} =$$

$$0.898e^{-0.9847(DW/DS)} \dots\dots\dots (4)$$

相關係數 $r=0.8899$ 達顯著水準。各符號代表涵意如下：

ESPo = 淋洗前土壤交換性鈉百分率。

ESP = 淋洗後土壤交換性鈉百分率。

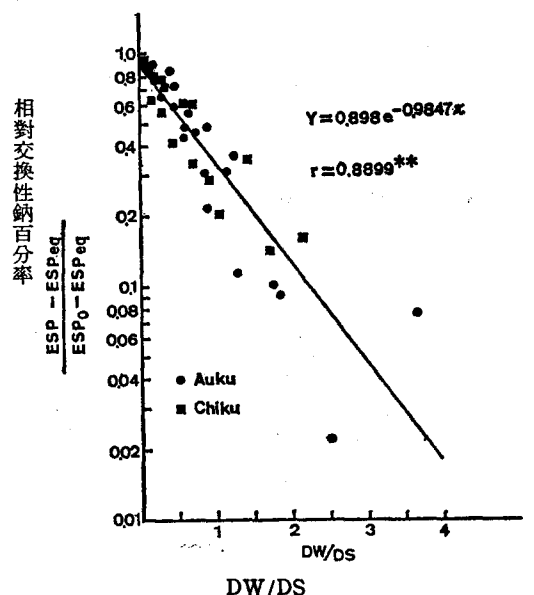
ESPeq = 鹽分平衡後，表土5公分交換性鈉百分率。

七股及鰲鼓兩試區在淋洗前，土壤飽和抽出液電導度均高於4毫姆歐，酸鹼度低於8.5，而交換性鈉百分率大於15%，經灌溉水淋洗後，土壤飽和抽出液電導度降至4毫姆歐以下，酸鹼度雖略有上升趨勢，但皆在8.5以下，交換性鈉百分率亦降至15%以下，這項資料可證實土壤交換性鈉之脫除係與溶解性鹽類同時進行，此種結果與王世中⁽¹⁾、薛鎮江⁽³⁾、嚴式清⁽⁴⁾及王百祿⁽²⁾等氏研究報告相符合。王世中氏⁽¹⁾等在29年前報告指出，臺灣鹽分地土壤交換性鈉百分率係與溶解性鹽類之脫除，並頭齊進。交換性鈉高時，土中常有大量溶解性鹽類保護其良好物理性質，溶解性鹽類脫除之後，土中仍有多量交換性鈉足以劣化其物理性質之情事，尚未發現。薛鎮江⁽³⁾報告，本省鹽分地土壤之交換性鈉問題並不嚴重，僅含鹽較高之土壤始含有較高之交換性鈉，而形成鹽性鹼土，其分佈極零星，面積極有限，且土壤均含有頗多石灰物質，不足重視，因此祇要灌溉排水洗去鹽分，則其交換性鈉百分率必隨之降低。Leffelaar 和 Sharma⁽⁹⁾報告從脫鹼淋洗曲線可以證實欲改良 Hansi 地區之鹽分地無須添加任何化學改良劑如石膏。Dahiya⁽⁵⁾等報告亦顯示鹽分地種植水稻，不必添加石膏

改良劑即可使交換性鈉降低。從本試驗結果，可證實本省中質地鹽性鈉土之改良，無須添加石膏，即可使交換性鈉降低，土壤亦無轉變為無鹽鈉土之可能。

四、預估鹽分變化各種模式之比較：

有關土壤鹽分淋洗預估鹽分變化之問題，在過去數十年來國外許多著名學者專家實地研究調查，它們分別以各種數學解析或模型等試驗方法，對不同地區土壤進行模擬試驗而得到豐碩之結果。本試驗係以淋洗所得之資料經分析統計代入 Van der Molen, Terkeltoub 和 Babcock, Dieleman 及 Reeve 等四種模式，計算淋洗率 (Leaching fraction) 與田間實測淋洗率相比較，期能獲求適合本省中質地鹽性鈉土淋洗之模式，俾供今後鹽分地改良規劃管理、應用之參考。茲將各模式簡述如下：



單位土層平均淋洗水深
Depth of leaching water per unit depth of soil
圖二、脫鹼淋洗曲線圖

Fig. 2. Desodification leaching curve

(1) Van der Molen's (21) (8) (11) 模式：

Van der Molen 模式主要根據 Glueckauf 原理，它將根域土層分成四層（亦可分成 n 層），每層 25 公分，並將各層土壤當做蓄水之系列 (series of reservoir)。定量灌溉之水首先灌溉第一層，然後滲入第二層，再由第二層滲入第三層，最後由第三層滲入第四層。由於土壤水分及鹽分之運動在接近田間容水量 (Field capacity) 時才產

生，故每層土壤水分可以當做常數 (constant)。第一層土壤鹽分平衡時，可用下列微分方程式表示：

$$Vdc_{te} = (C_i - C_r)Qdt \dots \dots \dots (5)$$

式中：V = 灌溉水量 (公升)

dc_{te} = 在田間容水量時，土壤之鹽分濃度 (毫姆歐)

C_i = 灌溉水之鹽分濃度 (毫姆歐)

C_r = 排水之鹽分濃度 (毫姆歐)

Q = 流量 (公升/秒)

dt = 期距 (秒)

$T = V/Q$ = 停留的時間 (Time of residence) (秒)

灌溉後，第一層土壤排水之濃度為

$$C_r = fc_{te} + (1-f)C_i \dots \dots \dots (6)$$

將(5)與(6)式之方程式化簡得式(7)

$$\frac{dc_{te}}{C_{te} - C_i} = -f \frac{Q}{V} dt \dots \dots \dots (7)$$

f 為淋洗效率 (Leaching efficiency) 在下列境界 (Boundary condition) 條件下：

$$t = 0, C_{te} = C_i$$

$$t = t, C_{te} = C_1$$

積分(7)式得式(8)

$$C_1 = C_i + (C_i - C_i)e^{-ft/T} \dots \dots \dots (8)$$

式中： C_1 = 從第一層土壤滲入第二層土壤之鹽分濃度。

依同樣原理可獲得第二、第三及第四層之鹽分濃度，則可寫成方程式(9)

$$C_n = C_i + (C_0 - C_i)e^{-ft/T} \sum_{n=0}^{n=N-1} \left(1 + \frac{f^n t^n}{n! T^n}\right) \dots \dots \dots (9)$$

式中：

C_0 = 土壤淋洗前之鹽分濃度 (毫姆歐)

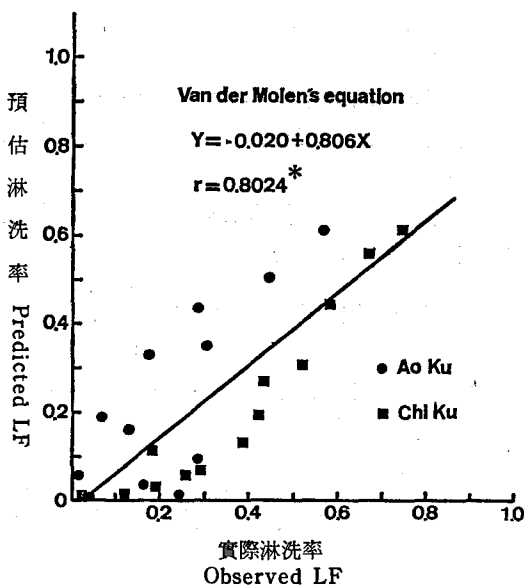
C_n = 第 n 層土壤淋洗後之鹽分濃度 (毫姆歐)

一般鹽分之變化，可用淋洗率 (Leaching fraction; LF) 表示。所謂淋洗率係指灌溉水量通過根域層實際之百分率 (The actual fraction of applied water that passes through the plant root zone)。本試驗田間實測之淋洗率 (observed LF) 與利用 Van der Molen 模式計算之預估淋洗率 (predicted) 之資料繪成圖三。

圖三顯示，預估與實測之淋洗率，經統計分析其相關係數 $r=0.8024$ 達顯著水準。Van der Molen⁽²¹⁾ 方程式，假設淋洗之水與土壤溶液成一平衡 (equilibrium) 狀態，鹽分之移動主要由於離子 (Ionic) 或分子 (Molecular) 擴散之影響。Gardner 和 Brook⁽⁷⁾ 研究報告指出離子或分子擴散太慢，土壤鹽分移動之主要因子係微量水流在土壤孔隙中之運動。本試驗淋洗之速率平均超過 0.2 公分/時，可見鹽分之移動，分散 (Dispersion) 是個首要之因子。Khosla⁽⁸⁾ 等試驗結果亦認為鹽分之移動，分散扮演重要角色與本試驗結果頗為相符。

(2) Terkeltoub 和 Babcock⁽¹⁸⁾ 模式：

Terkeltoub 和 Babcock 模式亦稱數值模式法 (Numerical model)。係應用活塞置換模式 (piston displacement model) 試驗成功而成名。其主要的理論根據是鹽分平衡 (salt balance) 的原理。假設第一層土壤鹽分濃度為 CS_1 ，灌溉水之鹽分濃度為 C_i ，灌溉後可得土壤之電導度為 CX_1 ，則可寫成(10)式：



圖三、預估與實測淋洗率之比較
Fig. 3. Comparison of observed and predicted leaching fractions

$$amm \text{ 灌溉水} \times C_i + bmm \text{ 土壤水分} \times CS_1 = (a+b)CX_1 \dots\dots\dots(10)$$

假設第一層土壤保留 cmm 之水量，則有 $(a-c)mm$ 之水量滲入第二層土壤，其濃度為 CX_1 ，第

二層土壤之鹽分濃度與第一層滲入鹽分混合後，使用同樣方法計算可寫成下式：

$$(a-c)CX_1 + dc_2 = (a-c+d)CX_2 \dots\dots(11)$$

本試驗依照數值模式法計算預估各土層鹽分之淋洗率與田間實測之淋洗率繪成圖四。經統計分析，其相關係數 $r=0.8934$ 達顯著水準。Van Alphen⁽¹⁹⁾ 在秘魯鹽分地種植水稻洗鹽，採用試驗區之水分平衡及鹽分變化資料，利用數值模式方法計算墾殖期間之淋洗效率，報告指出，開墾初期得較高之淋洗效率，但種植水稻期間淋洗效率甚低。此種方法可預測在水質不同，雨水，蒸發及排水等因子綜合影響下各土層之鹽分變化。Khosla⁽⁸⁾ 等報告顯示，數值模式法預估淋洗率與實測淋洗率相關係數亦達 0.92。

(3) Reeve's 模式⁽¹⁴⁾

土壤質地，灌溉，排水，蒸發，蒸散，地下水位及水平滲透等都是影響鹽分消長之主要因素。據 Reeve's 等之研究，欲淋洗原含高濃度鹽分之土壤，使之種植作物，其淋洗水量約為每 30 公分土壤需要 300 公厘之清水，在浸水淋洗方式下，淋洗水量可用下式表示。

$$EC - E_{Ceq} / E_{Co} - E_{Ceq} = 0.062 \left(\frac{DS}{DW} \right) + 0.034 \dots\dots\dots(12)$$

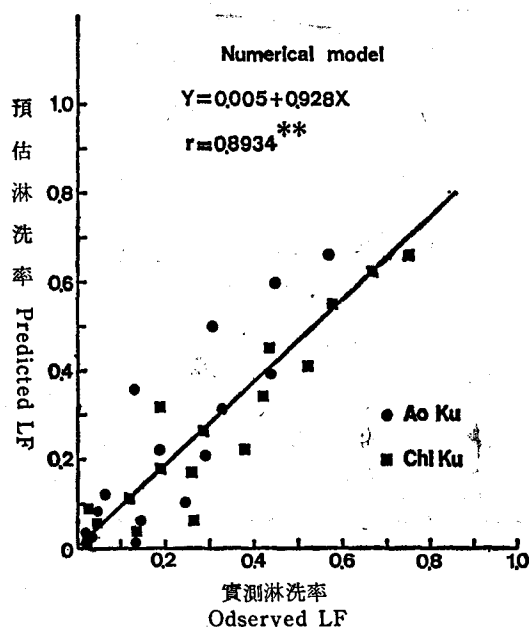
本試驗將田間收集資料，經整理統計代入式 12 即可求得各土層預估淋洗率與田間實測淋洗率繪成圖五，兩者相關係數 $r=0.8808$ 數達顯著水準。

(4) Dieleman's 模式⁽⁶⁾⁽⁹⁾

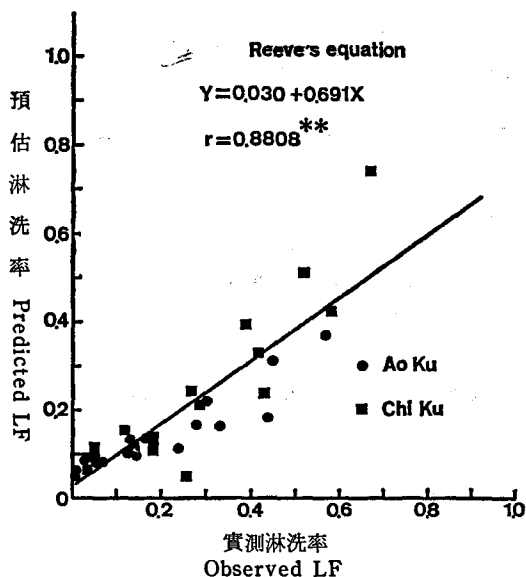
Dieleman's 等氏於伊拉克做鹽分地淋洗試驗，報告指出 Dujailah 地區壤土和粉質壤土淋洗需水量較少，而 Annanah 地區粉質粘土淋洗需水量較多。Dujailah 地區土壤欲使表層 60 公分土壤鹽分遞減至淋洗前之 10%，僅需 35 公分之水量，但 Annanah 地區土壤則需 190 公分之灌溉水，其主要原因可能是輕質地土壤孔隙比較均勻，重質地土壤易龜裂，淋洗時大部份之水量由裂縫滲入，淋洗效率偏低所致。根據該地區之試驗，Dieleman's 得理論方程式如式 13。

$$EC - E_{Ceq} / E_{Co} - E_{Ceq} = \exp \left[- \frac{(fDW)}{(\theta DS)} \right] \dots\dots\dots(13)$$

將田間試驗之資料，經整理統計代入式 13 可求得理論預估淋洗率與田間實測之淋洗率，繪成圖六



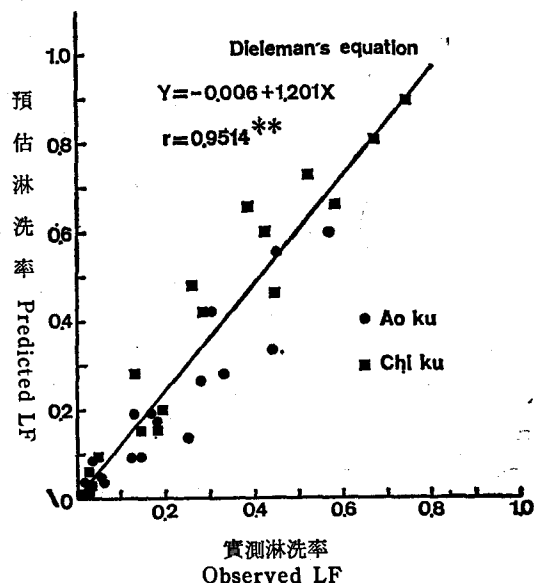
圖四、預估與實測淋洗率之比較
Fig. 4. Comparison of observed and predicted leaching fractions



圖五、預估與實測淋洗率之比較
Fig. 5. Comparison of observed and predicted leaching fractions

，經統計分析得相關係數 $r=0.9514$ 達極顯著水準。Leffelaar 和 sharma⁽⁹⁾ 氏在 Hissar 作鹽性鈉土淋洗試驗報告指出 Dieleman's 模式所求理論

數值與田間實測值十分接近。Khosla⁽⁸⁾ 等之報告顯示，理論淋洗率與實測淋洗率兩者相關達 0.92，在所試模式中，以 Dieleman's 模式與數值模式法最接近田間實際數值，與本試驗結果頗為一致，因此今後在本省中質地土壤鹽分之淋洗，欲預估鹽分之變化及經濟淋洗需水量，似可採用 Dieleman's 模式為依據。



圖六、預估與實測淋洗率之比較
Fig. 6. Comparison of observed and predicted leaching fractions

誌 謝

本研究自開始至完成承蒜頭糖廠徐課長榮華，陳股長慶水，曾工程師昭陽，佳里糖廠林課長萬輝，蔡股長玉崑，農場課諸同仁。本所化驗中心陳技師正義，本系姚技師財寶之協助至多，特謹致謝忱。

參 考 文 獻

1. 王世中、薛鎮江，1958，水與二氧化碳對臺灣鹽漬沖積土之發育及改良。臺灣糖業研究所研究彙報15:17-47
2. 王百祿、楊尚仁、張玉鑽，1980，雙層暗渠系統之排水及洗鹽效果，中國農業工程學報26:2:66-80。
3. 薛鎮江，1961，臺灣鹽漬沖積土改良之研究，臺灣糖業研究所研究彙報 24:73-117。
4. 嚴式清，1977，臺灣鹽分地之自然淋洗作用(II)暗管排水池，臺灣糖業研究所研究彙報77:13-25。

5. Dahiya, I. S., R. S. Malik and Maharaj Singh. 1981. Field studies on leaching behaviour of highly saline sodic under two modes of water application in the presence of crops. *J Agric, Sci, Camb.* 97:383-389.
6. Dieleman, P. J., 1963. Reclamation of salt affected soil in Iraq. Veenman, Wageningen, 175 pp.
7. Gardner, W. R. and Brooks, R. H. 1957. A descriptive theory of leaching. *Soil Sci.* 83: 295-304.
8. Khosla, B. K., Gupta, R. K. and Abrol, I. P. 1979. Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. *Agric. Water Manage.* 2: 193-202.
9. Leffelaar, P. A. and Sharma, R. P. 1977. Leaching of a highly saline-sodic soil. *J. Hydrol.* 32: 303-218.
10. Mann, M., Pissana, A. and Van Hoorn, J. W. 1982. Drainage and desalinization of heavy clay soil in Portugal. *Agric. Water Manage.* 5:227-240.
11. Martinez Beltran, J. 1978. Drainage and reclamation of salt affected soils. publ. 24 ILRI, Wageningen.
12. Miller, R. J., D. R. Nielsen, and J. W. Biggar. 1965. Chloride displacement in panoche clay loam in relation to water movement and distribution. *J. Water Resour. res.* 1: 63-73.
13. Nielsen, D. R., Biggar, J. W. and Luthin, J. N. 1966. Desalinization of soils under controlled unsaturated flow conditions. *Trans. 6th. Congr Int. Comm. Irrig. Drainage*, New Delhi, India, Q 19: 15-24.
14. Reeve, R. C. 1957. The relation to salinity to irrigation and drainage requirements. *3rd Congr. on Irrigation and Drainage*, 5: 10. 175-187.
15. Richards, L. A. (Editor) 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* USDA, Handbook No. 60, 160 pp.
16. Russell. E. W. 1973. *Soil Condition and Plant Growth.* Longman, London and New York.
17. Talsma, T. 1967. Leaching of tile drained saline soils. *Aust. J. Soil Res.* 5: 37-46.
18. Terkeltoub, R. W. and Babcock, K, L. 1971. A simple method for predicting salt movement through soil. *Soil Sci.* 111: 182-187.
19. Van Alphen, J. G. 1975. Salt-affected soil in Peru. Annual Re-port. ILRI, Wageningen, The Netherlands.
20. Van der Molen, W. H. 1956. Desalinization of saline soils as a column process. *Soil Sci.* 81: 19-27.
21. Van der Molen, W. H. and Van Hoorn, J. W. 1973. Salt balance and leaching requirement. Publ. 16, Vol. III, ILRI, Wageningen. *Drainage Principles and Applications* pp. 60-100.
22. Van Hoorn, J. W. 1981. Salt movement, leaching efficiency, and leaching requirement. *Agric. Water Manage.* 4: 409-428.

屏 能 企 業 公 司

地 址：屏東縣潮州鎮光輪路57巷2號