

# 水田土壤特性與水稻收量之關係研究<sup>1</sup>

李予純 林家榮<sup>2</sup>

**摘要** 為探討中部粘板岩沖積土性質與水稻生長及產量的關係，62年度在濁水溪灌溉區域內溪州、田尾、西螺及北斗四鄉鎮，各依當地水稻產量高低選取二處，共計八處，包括粘板岩新舊沖積土，分屬六種不同土系，同時進行田間及溫室水稻栽培試驗<sup>(1)</sup>。結果盆栽試驗與田間結果相符合，凡田間收量低者，盆栽亦低。就水稻生育期中，每隔兩星期採取土壤溶液測定結果，顯示稻穀收量除與土壤氮、磷、鉀釋放能力有顯著正相關關係以外，並與土壤溶液之 PH 值， $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Ca}^{2+}$  之含量呈顯著負相關關係，而田間結果認為稻穀收量與土壤排水性能或水分滲透率甚有關係。

為配合田間試驗，仍以濁水溪粘板岩沖積土在本所溫室舉行盆栽試驗，以探討土壤肥力，排水與否對於稻穀收量之影響。共用土壤36個，分別採自濁水溪流域田間試驗地區，處理分排水與否兩種，排水者水自試驗盆底側所裝之玻璃管排出，每日約1公分。重複兩次，計  $36 \times 2 \times 2 = 144$ 盆，依達機區集法排列於溫室，肥料施用量各盆相同，為 N 80ppm, P 及 K 各 50ppm。

本試驗共植水稻二期，一期作自63年2月至8月；二期作自63年8月至64年1月。結果摘要如下：

1. 土壤性質與稻穀產量之關係 與稻穀產量關係最密切的土壤性質為土壤的陽離子交換總量 (CEC) 及有機質 (O. M.)，有效磷 (Available P) 的含量，均與稻穀產量成顯著正相關關係；而土壤的 pH 及交換性鈣的含量則與稻穀產量有顯著負相關關係。
2. 土壤溶液內化學成分含量與稻穀產量之關係 稻穀產量與土壤溶液內之 PH 值， $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Ca}^{2+}$  之含量呈顯著負相關關係，與土壤溶液內  $\text{NH}_4^+$ , P,  $\text{Fe}^{2+}$  及有機酸的含量呈顯著正相關關係。有機酸對水稻產量的影響應係其對土壤溶液 PH 的影響而來。
3. 排水對稻穀產量之影響 排水對二期作水稻產量影響較大。二期作排水處理較不排水者稻穀平均產量高 14.05%，一期作則僅高4.51%。由土壤溶液測定知排水對其中 PH 值， $\text{NH}_4^+$  及 P 的含量影響不大，但對其他成分含量的影響極大，即排水顯然減少土壤溶液中 Total organic acid,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  及  $\text{Mn}^{2+}$  的含量，且排水對二期作土壤溶液的影響較一期作為大。

如以排水處理的稻穀產量為 100，求同一土壤不排水處理的產量百分比，則二期作中各土壤不排水處理的稻穀產量百分比仍與土壤溶液中的 PH 值， $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Ca}^{2+}$  的含量成顯著負相關關係。

概言之，本試驗所得結果仍與去年度所作中部粘板岩土壤性質與水稻產量之關係極相符合。即此等土壤之水稻產量除與土壤中的氮、磷釋放能力有極顯著的正相關關係外，並與土壤之 pH 值，鈣之含量及土壤溶液中  $\text{HCO}_3^-$  含量成顯著負相關關係。排水確能增加水稻產量，但對二期作影響較大，可增產稻穀14.05%；一期作則僅能增產4.51%。

## 試驗方法

一、溫室盆栽 本試驗共植水稻兩期，一期作自63年2月至8月；二期作自63年8月至64年1月。試驗用土壤採自田間各試驗區，共36處，每盆用土7公斤，分排水與不排水兩處理。排水者水自盆

本研究承國科會及農復會之補助，謹誌謝忱。

1. 試驗報告農試字第七六二號

2. 臺灣省農業試驗所技士、技正

底側所裝之玻璃管排出，每日（24小時）約1公分。重複兩次，計  $36 \times 2 \times 2 = 144$  盆，依逢機區集法排列於溫室。各盆肥料施用量為 N, 80ppm, P 及 K 各 50 ppm.

## 二、分析項目

- (一) 土壤分析 供試用土壤先作土壤一般性質分析，項目包括土壤 PH、有機質(O. M.)、陽離子交換總量 (CEC)、質地 (Texture)、全氮、有效性 P、K及 Mn、活性鐵 (Active Fe)、交換性 K、Ca 及 Mg 等。
- (二) 土壤溶液分析 土壤溶液採自試驗盆底側所裝之玻璃管，每期共採兩次，即水稻之分蘗盛期及幼穗形成期，分析項目包括 PH 值、有機酸總量(Total organic acid)、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、P、K、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  及  $\text{Mg}^{2+}$ 。
- (三) 植物分析 水稻生育期中定期作生育調查記錄，收穫後記錄其穀、藁產量，並作植物分析。

## 結果與討論

### 一、水稻穀、藁產量

排水處理對二期作水稻產量影響較大。二期作排水處理較不排水者稻穀平均產量高14.05%；一期作則僅高4.51%。如將此產量依各土壤在田間之排水狀況分為排水不良、不完全及良好三類，則其穀、藁產量之平均值列於表 1，由此表知本試驗中之排水處理僅能使田間排水情形不良之土壤增產，對田間排水情形原即良好之土壤反減低其產量（由於養分流失之故）。如將排水不良及不完全之土壤產量與排水良好者之產量分別計算，則本試驗中之排水處理能使田間排水情形不良之土壤稻穀產量一期作增加4.75%，二期作增加 15.58%。

### 二、土壤性質與稻穀產量之關係

(一) 土壤性質 供試用土壤之 PH 範圍在4.8~7.7 之間，但在 PH 7 以下之土壤僅六個，其餘三十個均在 PH 7.0 以上。有機物含量在 1.5~4.7%之間。有效性磷含量相差極大，在 15~121 ppm P 之間，而含量在臨界濃度 (20 ppm) <sup>(2)</sup> 以下者佔25個。有效性鉀含量在12~202 ppm K 之間，含量在臨界濃度 (35 ppm K) <sup>(2)</sup> 以下者亦佔25個，即全部樣本的69%。CEC 在 6.50~16.75 meq/100g soil 之間。活性鐵含量在 0.56~1.46% 之間，有效性錳在 2~216 ppm 之間， $\text{CaCO}_3$  含量在0至 12%之間。土壤質地幾均屬粉質粘土 (SiC) 及粉質粘壤土 (SiCL)。

表 1. 水稻穀、藁產量 (依田間排水狀況分類)

Table 1. Yield of grain and straw with different drainage status.

田間排水狀況	一期作				二期作			
	穀		藁		穀		藁	
	排水	不排水	排水	不排水	排水	不排水	排水	不排水
不良	16.58	15.91	26.47	25.16	16.90	15.04	20.63	19.57
不完全	13.87	13.16	22.40	20.34	16.47	13.83	19.60	17.28
良好	17.48	17.91	22.16	21.20	18.94	19.52	21.32	23.08

表 2. 供試土壤性質 (依田間排水狀況分類)

Table 2. Some physical and chemical properties of the experimental soils with different drainage status

項 目	排 水 不 良		排 水 不 完 全		排 水 良 好			
	範 圍	平 均	範 圍	平 均	範 圍	平 均		
pH	7.4— 7.6	7.48	5.2— 7.7	7.26	4.8— 7.4	5.73		
O. M.	2.8— 4.7	3.43	1.5— 3.3	2.26	2.1— 3.4	2.76		
Active Fe	1.1— 1.5	1.32	0.8— 1.3	1.16	0.6— 1.2	0.88		
CEC	9.7— 16.8	13.34	6.5— 12.6	10.02	8.3— 10.5	9.49		
CaCO <sub>3</sub>	3.5— 13.2	7.04	0.1— 7.9	2.80	0— 3.7	0.95		
E. x. + Soluble	meg/100	Ca	27.0— 37.8	32.00	5.0— 34.5	22.15	4.2— 28.0	11.56
		Mg	1.8— 5.1	3.31	1.0— 3.8	2.47	1.0— 1.9	1.47
		K	44.0—116.0	79.50	28.0—132.0	53.09	42.0—142.0	72.00
Avai. P	ppm.	3.0— 11.4	5.59	1.5— 42.0	15.80	3.4— 46.5	28.23	
Avai. Mn		92.0—216.0	143.00	33.0—190.0	109.14	2.0—166.0	57.50	

如將供試土壤性質依各土壤在田間之排水狀況分為排水不良、不完全及良好三類，則其各成分之含量範圍及平均值列於表 2。表 2 顯示田間排水情況不良之土壤除有效磷之含量顯較排水良好之土壤為低，有效鉀之含量差別不明顯外，其他如有機物、碳酸鈣、有效鐵、錳等之含量及土壤 PH 均以排水不良之土壤為高。

(二) 土壤性質與稻穀產量之關係 稻穀產量與土壤各項性質之單相關關係列於表 3。由表 3 知本試驗所得結果仍與上年度試驗結果相同<sup>(1)</sup>，即在此等 PH 較高之粘板岩沖積土，稻穀產量與土壤 PH 值及鈣之含量呈顯著負相關關係，而與土壤有機物及有效磷的含量呈顯著正相關關係。又稻穀產量與土壤 PH 值、有機質含量、有效性磷及交換性鈣等之複相關迴歸方程式及相關係數如下：

#### 一 期 作

排水處理：

$$\text{Grain yield} = 15.23 + 2.54 \times \text{O. M. \%} - 0.28 \times \text{Ca} \pm 3.50$$

$$R = 0.61^{**}$$

不排水處理：

$$\text{Grain yield} = 37.68 - 3.94 \times \text{PH} + 1.95 \times \text{O. M. \%} \pm 3.08$$

$$R = 0.74^{**}$$

#### 二 期 作

排水處理：

$$\text{Grain yield} = 11.68 + 0.02 \times \text{P} + 0.97 \times \text{CEC} - 0.24 \times \text{Ca} \pm 2.55$$

$$R = 0.71^{**}$$

不排水處理：

$$\text{Grain yield} = 21.51 - 1.51 \times \text{PH} + 2.68 \times \text{O. M. \%} - 0.13 \times \text{Ca} \pm 2.27$$

$$R = 0.75^{**}$$

表 3. 稻穀產量與土壤性質之相關

Table 3. Relationship between grain yield and soil properties

期 作 別 處 理	一 期 作		二 期 作		
	排 水	不 排 水	排 水	不 排 水	
pH	-- 0.4955**	-- 0.6771**	-- 0.3397*	-- 0.5868**	
O. M.	0.1970	0.2974	0.2835	0.4162*	
Available P	0.3180	0.1708	0.4615**	0.3619*	
Available K	0.2459	0.2397	0.2686	0.1997	
CEC	0.0487	-- 0.0200	0.1899	0.1842	
Ex. + Soluble	{ K	0.1534	0.1392	0.2329	0.2462
	{ Ca	-- 0.4780**	-- 0.4597**	-- 0.3928*	-- 0.4220**
	{ Mg	-- 0.2940	0.3261*	-- 0.1786	-- 0.2422
Active Fe	-- 0.1620	-- 0.2778	-- 0.0576	-- 0.3074	
Available Mn	-- 0.3830*	-- 0.2521	-- 0.2045	-- 0.1807	
% {	Sand	-- 0.0520	-- 0.1262	0.0266	0.0033
	Clay	0.0550	0.1010	0.0323	0.1217
	Silt	0.0140	0.0824	0.0016	-- 0.1541
CaCO <sub>3</sub>	-- 0.3810*	-- 0.2677	-- 0.2355	-- 0.1287	

\* 5 % 顯著平準

\*\* 1 % 顯著平準

## 三、土壤溶液內化學成分含量與水稻產量之關係

本試驗曾於水稻生長期中自試驗盆底側所裝之玻璃管採取土壤溶液分析，每期作各為兩次，即分蘗盛期及幼穗形成期。稻穀產量與土壤溶液內化學成分含量的相關關係列於表 4。

表 4. 稻穀產量與土壤溶液內化學成分含量之相關

Table 4. Correlation between grain yield and the concentration of chemical components in soil solution

期 作 別 採 樣 期 排 水 情 形	一 期 作				二 期 作			
	(插秧後) 五星期		十 星 期		四 星 期		八 星 期	
	排 水	不 排 水	排 水	不 排 水	排 水	不 排 水	排 水	不 排 水
PH	-- 0.402*	-- 0.536**	-- 0.467**	-- 0.457**	-- 0.346*	-- 0.583**	-- 0.377*	-- 0.501**
Total O. A	0.106	0.092	0.188	0.435**	0.315	0.554**	0.198	0.506**

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.137	0.049	- 0.229	0.103	- 0.227	- 0.148	-0.385*	0.358*
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.258	0.518**	0.108	0.080	0.262	0.113	—	—
K <sup>+</sup>	0.241	0.288	- 0.143	0.058	0.024	- 0.009	-0.132	0.047
Ca <sup>2+</sup>	- 0.095	- 0.056	- 0.206	- 0.112	- 0.435**	- 0.415*	-0.363*	0.304
Mg <sup>2+</sup>	- 0.128	- 0.166	- 0.074	- 0.098	0.060	- 0.108	-0.038	0.149
Fe <sup>2+</sup>	0.351*	0.068	0.463**	0.431*	0.269	0.528**	0.207	0.535**
Mn <sup>2+</sup>	0.333*	0.023	0.188	- 0.401*	- 0.300	0.049	-0.354*	0.221
P	—	—	0.202	0.075	0.364*	0.133	0.324	0.266

\* 5 %顯著平準

\*\* 1 %顯著平準

由表 4 知稻穀產量與土壤溶液內之PH值、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>之含量呈顯著負相關關係；與土壤溶液內NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、P、Fe<sup>2+</sup>及有機酸 (Total organic acid) 的含量則呈顯著正相關關係，與Mn<sup>2+</sup>的關係不盡一致。此等結果與去年度對中部粘板岩土壤所作試驗結果也極符合。(1) 僅有機酸(多屬醋酸) (4) 含量與產量關係略有出入。過量的有機酸(約 10meg/liter) (5) 對水稻生長本有毒害作用 (5)，在本試驗不排水處理中反與稻穀產量呈顯著正相關關係，其原因為此等土壤中所產生的有機酸尚未達有害的濃度，而土壤溶液(尤其不排水處理者)的PH又受其中有機酸含量的影響甚大(表 5)。

表 5. 土壤溶液中 PH 與有機酸含量之相關

Table 5. Correlation between soil solution PH and its total organic acid content

期	作	別	插 週	秧 數	處	
					排	水
一	期	作	{	5	0.3216	0.1008
				10	- 0.2685	- 0.7165**
二	期	作	{	4	- 0.5952**	- 0.7130**
				8	- 0.0820	- 0.2523

如是，有機酸對產量的影響應係由其與 pH 的關係而來。

溶液中 Fe<sup>2+</sup> 的含量與稻穀產量也呈顯著正相關關係，顯示此等 pH 較高的土壤中，Fe<sup>2+</sup> 的含量不高，而鐵為植物必需的微量要素之一，水稻對其需要量更較其他植物為高 (3)，則產量低的土壤，或有缺鐵的可能。

## 四、排水對土壤溶液內營養成分含量的影響

為比較本試驗中排水與不排水處理對土壤溶液內營養成分含量的影響，將兩處理內36個土壤溶液的各測定項目平均值列於表6。

表6. 排水對土壤溶液內營養成分含量的影響（各土壤平均值）

Table 6. The effect of drainage on nutrients content of the soil solution (average of 36 soils)

項 目	插秧後週數 處理	一期作				二期作			
		五 星 期		十 星 期		四 星 期		八 星 期	
		不 排	排	不 排	排	不 排	排	不 排	排
PH meg/L		6.73	6.88	6.85	6.85	6.90	6.91	7.07	6.81
Total O. A. ↑		0.51	0.28	2.41	0.49	1.14	0.49	1.92	0.58
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meg/L		8.28	5.27	18.89	4.47	14.08	6.14	21.49	5.49
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ↑		2.95	2.21	0.62	0.49	6.74	6.73	0	0
P		0.20	0.26	0.18	0.19	0.99	0.95	0.35	0.37
K <sup>+</sup>		14.86	6.50	5.74	0.84	10.84	10.18	3.34	1.11
Ca <sup>2+</sup> ppm		766.66	348.88	444.33	137.25	379.31	176.06	508.89	118.61
Mg <sup>2+</sup>		131.52	36.56	159.72	15.23	95.08	17.47	106.86	10.89
Fe <sup>2+</sup>		3.63	2.70	35.91	8.50	36.01	14.19	34.76	12.06
Mn <sup>2+</sup> ↓		5.51	1.53	10.48	2.16	7.37	2.95	8.30	2.52

由表6知排水對土壤溶液中PH值，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及P的含量影響不大，但對其他各成分含量的影響極大。即排水明顯地減少了土壤溶液中Total organic acid, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>及Mn<sup>2+</sup>的含量。表6也顯示排水處理對二期作的影響較一期作為大。

如以排水處理的稻穀產量為100，求同一土壤不排水處理的產量百分比，則二期作中各土壤不排水處理的稻穀產量百分比與土壤溶液中對其影響最大的數項成分含量間的複相關關係如下：

1. 與插秧後四星期土壤溶液內成分含量的關係：

$$\text{不排水處理稻穀收量百分率} = 277.77 - 28.59 \times \text{PH} - 1.21 \times \text{HCO}_3^- + 0.27 \times \text{Mg}^{2+} \pm 15.53$$

$$(\text{不排水} / \text{排水} \times 100)$$

$$R = 0.58^{**}$$

2. 與插秧後八星期土壤溶液內成分含量的關係：

$$\text{不排水處理稻穀收量百分率} = 110.24 - 1.53 \times \text{HCO}_3^- + 1.50 \times \text{K}^+ - 0.03 \times \text{Ca} + 0.27 \times \text{Mg} \pm$$

$$15.11$$

$$R = 0.65^{**}$$

由上列二複相關迴歸方程式知影響不排水處理稻穀收量百分率最大的因素仍為土壤溶液的PH值，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>，Ca<sup>2+</sup>及Mg<sup>2+</sup>的含量。

## 參 考 文 獻

1. 李子純、李顯琨、林家棻 (1974)。中部粘板岩沖積土性質與水稻生長及產量之關係研究。農業研究23卷4期。
2. 臺灣省農田肥力測定 (1967)。臺灣省農業試驗所報告 (第28號)。
3. IRRI, 1964. Annual Report. The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, The Philippines .
4. IRRI, 1965. Annual Report. The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, The Philippines
5. IRRI, 1969. Annual Report. The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, The Philippines

# CHARACTERISTICS OF THE SLATE ALLUVIAL SOILS IN CENTRAL TAIWAN ASSOCIATED WITH THE GROWTH OF LOWLAND RICE

by

T. S. Lee Wang & C. F. Lin

## Summary

The purpose of this study was to evaluate soil fertility, drainage or not as related to the yield of rice in the slate alluvial soils in central Taiwan. This was actually a continuous study of 1973.

36 soils selected from the Cho Shui irrigation area in central Taiwan were used in this greenhouse experiment. Two treatments, with and without drainage with two replicates, a total of  $36 \times 2 \times 2 = 144$  pots were arranged in the greenhouse in a randomized complete block design. 1 cm of water per day was drained from the pots of the drainage treatment.

Two crops of rice were planted in this experiment. The first crop was from February to August 1974, and the second, from August 1974 to January 1975. The results was more or less the same as the former experiment in 1973. It was summarized as follows :

1. The relation between rice yield and soil characteristics : Soil PH and its calcium content were the most important factors affected the grain yield, both were negatively correlated with yield. While as the cation exchange capacity, organic matter, and available phosphorus content of the soil were positively correlated with grain yield.
2. The relation between rice yield and chemical composition of the soil solution : The PH value,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{Ca}^{2+}$  content in the soil solution were correlated negatively with the yield of grain. While as the amount of  $\text{NH}_4^+$ , P,  $\text{Fe}^{2+}$  and total organic acid in the soil solution were correlated positively with rice yield. (the significant correlation between total organic acid and rice yield was actually due to the effect of total organic acid on the PH of the soil solution) .
3. Effect of drainage on rice yield : Drainage indeed increased the yield of rice. The effect was more significant in the second than the first crop. Drainage increased the yield of grain by 14.05% and 4.51% in the second and first crop respectively.