本省水稻田土壤之陽離子交換性質研究[1]

黎 靜 韻[2]

一、導 言

陽離子交換爲土壤膠體中之一陽離子與卄壤溶液中另一陽離子之交換現象，亦爲土壤化學反應中最普通與最重要之一種反應（15），尤以陽離子交換能量（Cation Exchange Capacity 簡寫爲C.E.C.），每認爲可推知營養分穩藏之可能或對作物之可供應之營養分量，亦即土壤肥力之厚薄，由此可證明其梗概，再從各種所交換性陽離子含量多寡，可計算該土壤之飽和度與某項可交換養分之數量及養分間之比例關係、對土壤肥力或植物營養方面瞭解之增進至有助益（16），水稻田土壤爲本省最主要之農田土壤，凡四十餘萬公頃（1）包括各種不同母質來源之冲積土、紅壤及黃壤等，其固有隱藏積蓄能量之豐瘠，或可爲各類稻田產量之指標。過去此項研究不多，或僅報導其數值，散見於土壤調查報告與少數專題內，鮮有研討其間之關係者，此爲本研究之緣起。

二、前人之研究

有關本省水稻田土壤陽離子交換性質之研究資料甚少，土壤分析結果，僅散見於土壤調查報告書，或附列於某項專題內。爲瞭解一般情況，經搜集全省各縣土壤報告書，查出各類土壤分析之結果，按照不同地區，不同土類及不同母質之來源，統計 C.E.C. 之平均結果（2,3,4,5,6,7,8,9,10,及11），列成表一以明概況。

表一 過去分析本省水稻田土壤之 C.E.C. 資料統計結果

Table 1. The statistic result of C.E.C. of paddy soils that have been analysed since 1948 in Taiwan.

土類 Soil group	母質 Material	中部 Central part 樣本數 *S.a.n.	中部 C.E.C. 平均值 Average	南部 Southern part 樣本數 S.a.n.	南部 C.E.C. 平均值 Average	北部 Northern part 樣本數 S.a.n.	北部 C.E.C. 平均值 Average	東部 Eastern part 樣本數 S.a.n.	東部 C.E.C. 平均值 Average	合計 Total 樣本總數 **T.s.a.n.	合計 C.E.C. 總平均值 average
冲積土 Alluvial soils	砂岩頁岩質 Sandstone & shaly	23	6.2	15	8.9	19	8.1	—	—	57	7.5
	粘板岩質 Slaty	6	20.2	22	7.8	1	20.2	—	—	29	10.8
	片岩質 Schisty	—	—	—	—	—	—	7	9.5	7	9.5
合計 Total		29	9.03	37	8.2	20	8.7	7	9.5	93	8.7
紅壤或黃壤 ***R.B.L. or Y.B.L.		5	7.9	—	—	13	10.7	—	—	18	9.9
總計 Sum total		34	8.9	37	8.2	33	9.5	7	9.5	111	8.9

* S.a.n.——Sample analysed number. ** T.s.a.n.——Total sample analysed number

*** R.B.L. or Y.B.L.——Reddish brown latosols or Yellowish brown latosols

本研究獲國家科學委員會之研究補助，關於C.E.C.之推算荷洪昆煌教授，李蘭帝先生之鼓勵與協助，文成並承陳振鐸教授及梁鉅榮主任核正，統此誌謝。 1.試驗報告農試字第五五四號。 2.臺灣省農業試驗所技士。

自上表知水稻田土壤可分爲兩大類，一爲冲積土類，一爲紅棕壤及黃棕壤類，前者之陽離子交換能量（C.E.C. m.e./100g）含量較後者稍低。冲積土類水稻田復分爲三亞類，即砂岩頁岩質，粘板岩質及片岩質，就中以粘板岩質冲積土之 C.E.C. 平均值較高，片岩質冲積土次之，砂岩頁岩質冲積土較低，搜集已有之樣本爲111個，其 C.E.C. 之總平均值爲 8.9m.e./100 克，其中最高爲粘板岩質冲積土，最低爲砂岩頁岩質冲積土，均屬於中部地區。以地區言之，東部及北部土壤 C.E.C. 平均值相同，並較高於中部及南部兩地區，而中部亦較南部稍高，此爲綜合前人研究本省水稻田土壤陽離子交換能量之梗概。

三、研究範圍及目的

本研究從新採集土壤樣本，包括不同母質來源之冲積土，紅棕壤及黃棕壤外，並分別採集不同期作後之土壤樣本，及選擇高低產量不同地區採樣，進行分析與研究，目的有：

（一）研究全省各類水稻田土壤之陽離子交換特性與產量之關係，以討論其固有隱藏之能量。

（二）繼而研討其陽離子交換特性與其主要理化性質及稻米生產之相關。

四、試驗內容及結果

（一）分析項目及方法

1.陽離子交換性質方面：

採用 Brown 氏法（14）非鈣質土用

Mehlich 氏法（13）鈣質土用

（1）陽離子交換能量（C.E.C.）

（2）置換性鹽基總量（T.E.B.）

（3）置換性鉀、鈉、鈣、鎂及氫

（4）鹽基飽和度百分率

2.主要理化性質（14）

1.機械成分：浮秤法

2.PH.：玻璃電極法，水土之比（1:1）

3.有機質：Walkley-Black

4.全氮量：Kjeldahl法

（二）樣本採集之數目

1冲積土類	132個
1.砂岩頁岩質	37個
2.粘板岩質	52個
3.片岩質	22個
4.安山岩質	21個
2紅棕壤	25個
3黃棕壤	26個
合計	183個

（三）分析結果

各項分析結果詳見附錄。限於篇幅，未及印出。

五、討論

1.本省稻田土壤種類及其陽離子之交換性

本省水稻田土壤大部爲冲積土，小部份屬於紅棕壤或黃棕壤，分佈於臺地，凡水源可達之地區亦用作水田，冲積土因其母質來源不同，可分爲四亞類：

（1）砂岩頁岩質冲積土。

（2）粘板岩質冲積土。

（3）片岩質冲積土。

（4）安山岩質冲積土。

以砂岩頁岩質冲積土分佈面積較廣，安山岩質冲積土分佈面積較少，僅見於北部大屯山彙之冲積谷地。茲統計不同土類或各不同母質來源之冲積土各土層之陽離子交換能量如下表：

表二　本省水稻田土壤陽離子交換能量概況

Table 2. The Cation Exchange Capacity of the Soils of Paddy Field in Taiwan (m.e./100g.)

土類 Soil groups	母質 Parent materials ＼ 層次 Horizons	表土 Surface soils 樣本數 Sample number	表土 Surface soils 平均 Average	亞表土 Sub-surface soils 樣本數 Sample number	亞表土 Sub-surface soils 平均 Average	底土 Sub-soils 樣本數 Sample number	底土 Sub-soils 平均 Average	小計 Total 樣本數 Sample number	小計 Total 平均 Average
冲積土 Alluvial soils	砂岩及頁岩 Sandstone & shale	15	7.6	12	7.2	10	7.6	37	7.4
	粘板岩 Slate	22	8.1	18	7.0	12	6.2	52	7.3
	片岩 Schist	6	10.2	6	10.3	10	7.5	22	9.0
	安山岩 Andesite	9	24.8	5	24.6	7	21.1	21	23.5
紅棕壤 Reddish brown latosols	洪積層 Dilluvial deposite	6	9.4	6	10.2	13	11.4	25	10.4
黃棕壤 Yellowish brown latosols		6	12.6	6	11.7	14	11.0	26	11.5
合計 Total		64	10.7	53	9.7	66	10.2	183	10.4

自上表知陽離子交換能量（C.E.C.）之含量，就冲積土言之，因母質來源不同而異，以安山岩質冲積土之 C.E.C. 含量各層之總平均值爲最高 23.5m.e./100 克，表土、亞表土相差不遠，底土略遜；片岩質冲積土次之，平均值爲 9.0m.e./100 克，表土、亞表土至爲相近，底土平均較少；砂岩頁岩質冲積土又次之，表土與底土平均值相同，而較高於亞表土；粘板岩質冲積土之 C.E.C. 總平均值稍遜於砂頁岩冲積土，全剖面亦以表土爲高。紅棕壤或黃棕壤之 C.E.C. 平均值，則以後者之總平均值略高，爲 11.5m.e./100 克，兩者與冲積土比較，除安山岩質冲積土外，其餘三種母質之冲積土壤均較低。全部樣本183個之 C.E.C. 總平均值爲 10.4m.e./100 克。

茲將過去資料（表一）與現在分析結果（表二）比較之，其最大差異爲粘板岩質冲積土，過去之結果較高，29個樣本之平均值爲 10.8m.e./100 克，現在52個樣本之平均值爲 7.3m.e./100 克。此種差異原因或係由於樣本來源不同有以致之，其餘尚多吻合。

（二）本省水稻田土壤剖面各層陽離子交換能量（C.E.C.）之實況。

茲將本省水稻田土壤剖面各層 C.E.C. 之差異，就其剖面本身之各層含量範圍以爲比較，統計如表三：

表三　本省水稻田土壤剖面各土層陽離子交換能量高低概況

Table 3. The Cation Exchange Capacity of the Separate Horizon of the Paddy Soil Profiles in Taiwan.

土類 Soil groups	剖面層數 Number of Horizons	層次名稱 Name of Horizons	C.E.C. 範圍 Range of C.E.C. m.e./100g. Min.	Max.	剖面個數 Number of Profiles	各層平均數 Ave. m.e./100g.
冲積土 Alluvial Soils	1	表土 Surface	4.89	37.14	11	16.76
	2	表土 Surface	4.90	9.02	11	6.99
		亞表土 Sub-surface	4.16	8.81		6.17
	3	表土 Surface	3.74	31.56	21	9.87
		亞表土 Sub-surface	2.51	33.33		9.86
		底土 Sub-soils	1.47	21.61		8.65
	4	表土 Surface	4.40	27.17	9	12.99
		第二層 2nd layer	5.07	24.64		12.06
		第三層 3rd layer	6.27	24.46		11.89
		第四層 4th layer	5.20	25.79		11.39
紅棕壤或黃棕壤 Reddish Brown latosols or yellowish Brown latosols	4	表土 Surface	7.47	12.57	9	9.82
		第二層 2nd layer	9.32	11.36		9.96
		第三層 3rd layer	8.47	12.45		10.55
		第四層 4th layer	9.11	13.83		11.31
	5	表土 Surface	9.89	21.01	3	13.80
		第二層 2nd layer	10.20	20.57		14.06
		第三層 3rd layer	10.31	12.32		11.31
		第四層 4th layer	10.48	12.04		11.17
		第五層 5th layer	10.27	14.60		12.89

由表三觀之，本省冲積土水稻田土壤剖面中各層 C.E.C. 含量之平均數，皆以表土偏高，亞表土次之，底土偏低，即剖面四層者亦由表層依次下降；在紅棕壤或黃棕壤剖面觀之，剖面四層者之平均數，適與冲積土類者相反，即含量由表層依次增加，剖面五層者更爲複雜。一般言之，底層含量較高。

（三）本省水稻田土壤一般土壤性質與陽離子交換性之關係。

1.土壤質地與陽離子交換能量（C.E.C.）含量之關係，就土壤學之理論言，含粘粒成分愈高者，C.E.C. 含量愈高，(15)換言之，質地愈粘重者，含 C.E.C. 量愈高，質地愈輕鬆者，含 C.E.C. 量愈低。本省稻田土壤之質地與含 C.E.C. 量之實況，就分析結果統計之如表四。

表四　本省水稻田土壤之質地與陽離子交換能量

Table 4. The Soil Texture and C.E.C. Content of the Soils of Paddy Field in Taiwan (m.e./100g.)

質地名稱 Name of texture	冲積土 Alluvial soils		紅黃壤 Latosols		小計 Total	
	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average
粘土 Clay	24	19.3	33	11.0	5.7	14.5
粘質壤土 Clay loam	31	11.0	2	11.5	33	11.0
坋質粘土 Silty clay	10	8.7	15	11.3	25	10.3
坋質粘壤土 Silty clay loam	14	8.3	—	—	14	8.3
砂質粘壤土 Sandy clay loam	5	6.8	—	—	5	6.8
壤土 Loam	19	6.3	1	9.1	20	6.5
坋質壤土 Silty loam	14	6.0	—	—	14	6.0
砂質壤土 Sandy loam	12	5.9	—	—	12	5.9
壤質砂土 Loamy sand	1	5.5	—	—	1	5.5
合計 Total	130	10.2	51	11.1	181	10.4

由上表知冲積土質地愈粘重者如粘土，C.E.C. 含量愈高，反之質地輕者如壤質砂土 C.E.C. 量愈低。粘土24個之平均值爲 19.3m.e./100 克，壤質砂土則爲 5.5m.e./100 克，兩者之差幾達四倍。中間質地之土壤相差並不大，平均數多在 6 —11m.e./100 克間；至於紅黃壤質地多偏於粘質，C.E.C. 平均值多在 11m.e/100克左右，與冲積土略異。

（2）土壤有機質與陽離子交換能量之關係：土壤有機質含量與 C. E. C. 之關係，理論上早有論定，即成正比例之關係 (16) 本研究所採之183個土壤樣本之平均數統計如表五。

表五. 本省水稻田土壤之有機質與陽離子交換能量

Table 5. The Organic Matter and C.E.C. Content of the Soils of Paddy Field in Taiwan (m.e./100g.)

土類 Soil groups	有機質% Organic matter%	層次 Horizons 1 樣本數 Sample number	1 平均 Average	2 樣本數 Sample number	2 平均 Average	3 樣本數 Sample number	3 平均 Avarage	4 樣本數 Sample number	4 平均 Average	5 樣本數 Sample number	5 平均 Average	小計 Total 樣本數 Sample number	小計 Total 平均 Average
冲積土 Alluvial soils	<1	—	—	18	6.7	20	7.0	5	7.5	—	—	43	6.9
	1—3	35	8.5	19	10.3	7	13.0	4	16.2	—	—	65	10.0
	>3	17	16.5	4	16.2	3	19.2	—	—	—	—	24	16.8
紅棕壤 Reddish brown latosls	<1	—	—	—	—	5	11.3	5	11.9	1	10.3	11	11.5
	1—3	6	9.4	6	10.2	1	11.3	1	11.4	—	—	14	10.1
黃棕壤 Yellowish brown laotosools	<1	—	—	3	10.2	6	10.1	6	10.8	2	14.2	17	10.8
	1—3	3	9.2	3	13.2	—	—	—	—	—	—	6	11.2
	>3	3	15.3	—	—	—	—	—	—	—	—	3	15.3

上表顯示冲積土水稻田土壤剖面之各層有機質含量愈高，其 C.E.C. 值愈高，反之則愈低，黃棕壤亦然，惟紅棕壤之平均數值稍有差異，即含有機質1—3%者反較1%以下者爲低，此則有待查考其原因，但相差並不顯著。

（3）土壤之 PH 值與鹽基飽和度之關係

本省稻田土壤之 PH 值與鹽基飽和度之關係，爲易於瞭解，繪成圖1：A 與 B 及 C與D，以便於觀研，圖1：A所稱之冲積土包括粘板岩質與砂頁岩質者外，安山岩質及片岩質者均在其內，其反應與鹽基飽和度（簡稱 B.S.）關係相當廣泛，難以概論，例如 PH 5.2 之三土樣，其 B.S. 幾集中於42%左右，PH 6.6 之八土樣，B.S. 自54—67%，PH 6.1 之 B.S. 自5.1—8.1更爲寬廣。

圖1：B 紅棕壤或黃棕壤均係酸性土壤，PH 自4.5至6.1，多集中於5.5左右，鹽基飽和度偏低，自12%至37%，多集中於20%或30%左右。

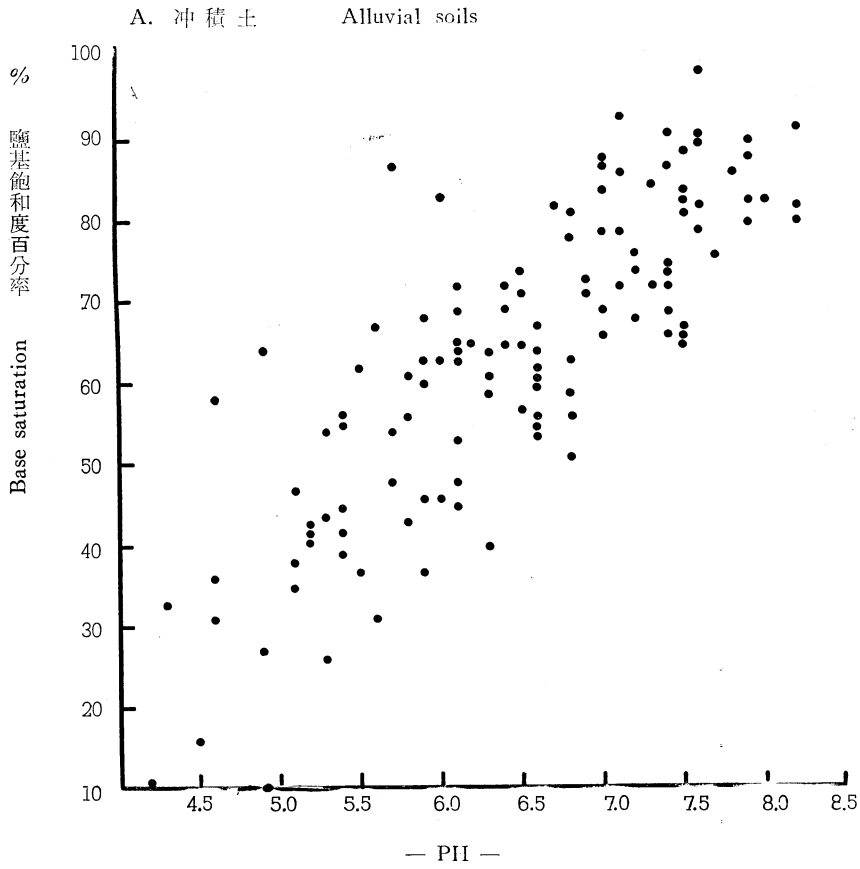
茲更就冲積土不同母質來源之土樣，繪成圖1C 與 D，以顯示其趨向關係。

圖1：C 粘板岩質冲積土之反應，多呈微鹼性，其鹽基飽和度多在 82%；呈酸性者，B.S. 多在65%左右，中性者之 B.S. 範圍較寬，自71%以至93%均有。

圖1：D 砂岩頁岩冲積土之反應，與鹽基飽和度可以用一曲線表示之圖中以 PH 值6.5，B.S. 65%爲中點，分向左右彎曲，接近對稱。前者 PH 降至5.3，B.S. 至54%，後者 PH 高達 7.6 B.S. 至82%；其中亦有例外者，如 PH6.8接近中性之土樣六個，其 B. S. 範圍至寬，自56%至84%不等。

圖1. A與B 不同稻田土壤之反應與鹽基飽和度

Fig. 1. A&B Soil reaction & base saturation of different paddy field soils



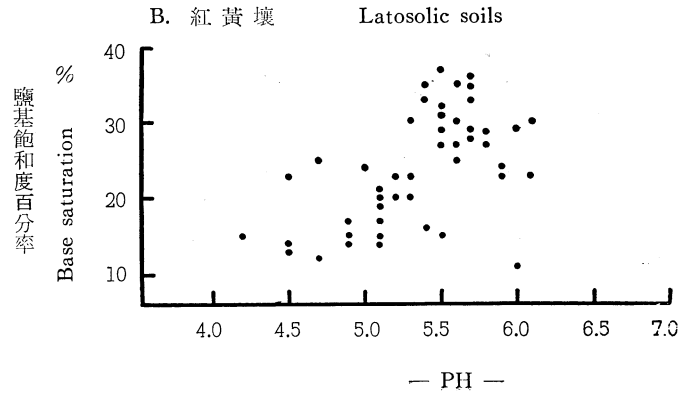
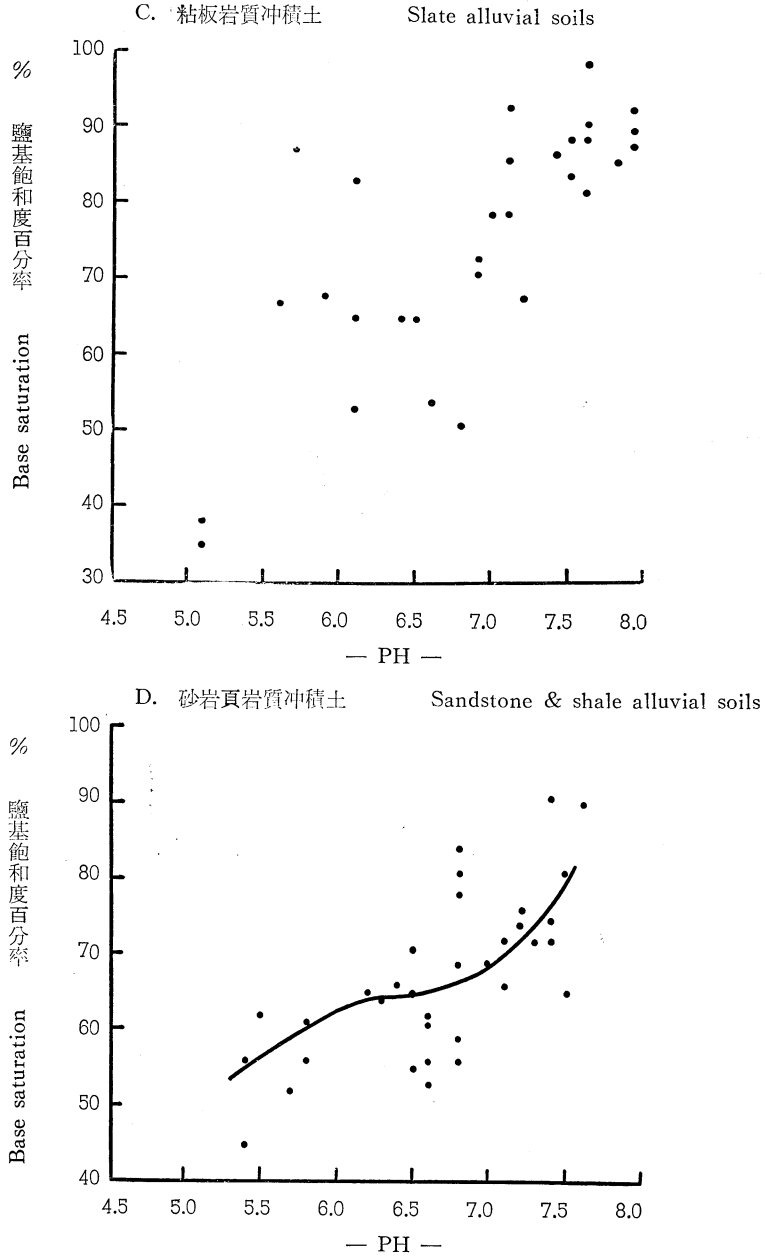


圖1. C 與 D 不同稻田土壤之反應與鹽基飽和度

Fig. 1. C & D Soil reaction & base saturation of different paddy feild soils



（四）本省水稻田土壤之陽離子交換能量（C.E.C.）與第一、第二期作間之關係

本省稻田產量，就每年兩期作而言，第二期作產量每較第一期作爲低（12）。論其原因，有謂因稻作生長期較短而影響第二期作之產量，或由於兩期作之氣候有別。第二期作在生長時間氣溫由高而低，不利於水稻之生殖生長，日照由長而短，使營養生長縮短。亦有謂第一期作後，接着第二期作利用，土壤毫無休閑機會，亦受影響，同時第二期作適逢高溫多雨時期，稻田排水不良，氧氣供應不足，此亦阻礙稻作之生長。本研究從肥力之隱藏觀點統計第一期作後與第二期作後所採土壤樣本陽離子交換能量（C.E.C.）之平均值加以申論。

表六　本省不同採集期之水田土壤之陽離子交換能量

Table 6. The C.E.C. Content of Soils Collected in Different Period (m.e./100g.)

期作別 Period	土類 Soil Groups / 層次 Horizons	冲積土 Alluvial Soils								紅棕壤 Reddish Brown Latosols		黃棕壤 Yellowish Brown Latosols	
		砂岩及頁岩 Sandstone & Shale		粘板岩 Slate		片岩 Schist		安山岩 Andesite					
		樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average
一期作後 After harvest of 1st crop	表土 Surface soils	9	7.4	15	7.9	—	—	1	19.8	3	9.2	3	13.9
	亞表土 Sub-surface soils	7	7.2	12	7.0	—	—	1	20.9	3	10.6	3	13.4
	底土 Sub-soils	5	7.1	6	7.5	—	—	1	19.5	3	11.7	3	10.0
	小計 Total	21	7.3	33	7.6	—	—	3	20.1	9	10.5	9	12.4
二期作後 After harvest of 2nd crop	表土 Surface soile	6	7.9	7	8.3	6	10.2	8	25.4	3	9.6	3	10.5
	亞表土 Sub-surface soils	5	7.1	6	7.0	6	10.2	4	22.1	3	9.9	3	10.1
	底土 Sub-soils	3	8.4	5	5.8	6	7.4	4	19.5	3	10.9	3	10.5
	小計 Total	14	7.7	18	7.2	18	6.5	16	23.1	9	10.1	9	10.4

就上表六自表土言之，除黃棕壤外，其他不同母質之各種冲積土與紅棕壤第一期作後陽離子置換能量（C.E.C.）之平均值均較第二期作後者爲低，即指第二期作後土壤之可交換性陽離子能量較第一期作後者高，因而影響其後作之產量，似有理由。但細察其高出之數值，除安山岩質冲積土較多外，各高出之數值不多，由此以爲減產之影響原因，尚不足爲據。要之，影響一、二期作產量之因子頗多，且各因子之變化亦大，產量乃各因子綜合之結果，C.E.C. 或亦其因子之一。

（五）本省水稻田土壤之陽離子置換能量（C.E.C.）與其產量之關係

本研究於採樣前，即先參考農林廳調查高低產量稻田報告（1），根據其第一、二期作高低產量地區分佈圖，選擇地區前往採樣。茲所謂高低產量稻田，係指第一期作未滿2,500公斤／公頃者爲低產量，超過3,500公斤／公頃者爲高產量；第二期作未滿每公頃2,000公斤者爲低產量，超於3,000公斤者爲高產量，採樣時並查詢當地農民核對，參照分析結果與高低產量之關係統計之如表七。

表七　本省水稻田土壤之 C.E.C. 含量與其產量

Table 7. The C.E.C. Content and Rice Yield of Paddy Soils in Taiwan (m.e./100g.)

層次 Horizons	高產量 High yield		低產量 Low yield	
	樣本數 Sample number	平均 mean	樣本數 Sample number	平均 mean
表土 Surface soils	34	11.9	30	10.2
亞表土 Sub-surface soils	27	9.5	26	10.1
底土 Sub-soils	21	9.9	21	10.6
小計 Total	82	10.4	77	10.3

表內如以表土之 C.E.C. 爲比較高低產量兩種稻田土壤之規範，則兩者平均值，養分隱藏力確有差異，高產量稻田土壤之 C.E.C. 高出低者約 1.7m.e./100 克，但就亞表土或底土或各層之總平均值比較，則並不顯明，然則以表土之含量或可據以解釋其間之關係，其他各層未必盡然。

（六）本省水稻田土壤之陽離子交換能量（C.E.C.）與地區性之關係。

本省水稻田土壤之陽離子交換能量與地區性之關係，前人研究中曾有論及，茲更就本研究所採用之土壤樣本分析結果，分別將各地區之表土統計之見表八。

表八　本省水稻田土壤之陽離子交換能量與其地區性之關係

Table 8. The Relationship between the C.E.C. of the Paddy Soils and Their Locality (m.e./100g.)

土類 Soil groups ＼ 母質 Parent materials ＼ 地區 Locality		北部 Northern part		中部 Central part		南部 Southern part		東部 Eastern part	
		樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average	樣本數 Sample number	平均 Average
冲積土 Alluvial soils	砂岩及頁岩 Sandstone & shale	—	—	3	6.9	12	7.7	—	—
	粘板岩 Slate	10	7.4	5	9.1	7	8.3	—	—
	片岩 Schist	—	—	—	—	—	—	6	10.2
	安山岩 Andesite	9	24.8	—	—	—	—	—	—
	小計 Total	19	15.7	8	8.3	19	7.9	6	10.2
紅壤及黃壤 Latosols	洪積層 Diluvial deposite	12	10.8	—	—	—	—	—	—
	小計 Total	31	13.8	8	8.3	19	7.9	6	10.2

由上表數據以地區言，北部之 C.E.C. 最高，三十一個土壤樣本之平均值爲 13.8m.e./100g，東部次之，六個樣本之平均值爲 10.2m.e./100克，中部再次之，以南部爲最低。各地區高低差異之原因仍以母質之影響爲最大，安山岩質冲積土稻田土壤爲最高，片岩質次之，粘板岩質又次之，砂岩頁岩質爲最低，而與有機物含量多少關係亦切，北部及東部稻田有機物含量較中部及南部者爲多，足以證實之。

（七）有關土壤陽離子交換能量推算之研擬。

（1）本研究對 C.EC. 推算式之推薦

就學理言，C.E.C. 與土壤性質間之關係最密切者爲粘土與有機質含量，前者粘土礦物因其型式之不同，C.E.C. 之差異至大，硅石（Vermiculite）最大，150m.e./100克，其次爲蒙特石（Montmorillonite）100m.e./100克，依來石（Illite）更次之，爲 30m.e./100克，高嶺石（Kaolinite）最低，8m.e./100克，後者腐植質爲 200m.e./100克。土壤學者在不明其型式前，對 C.E.C. 之一般粗略估計，係以1%之粘粒可有 0.5m.e./100克之 C.E.C.，1%之有機質可有 2m.e./100克 C.E.C.（15），係採其平均數而估計其概數，已沿用頗久。土壤粘土礦物之種類與 C.E.C. 之分析，非一般實驗室可輕易舉辦，因而土壤之陽離子交換能量之推算仍爲實用上所需求。本研究分析之土壤樣本，包括全省農田，數目雖然不多，亦不爲少，因擬應用之，以作估計之基礎。試以假定 C.E.C. 與粘粒及有機質含量有正相關之關係，應用統計原理，設下列方程式，x，y 爲測定值，應用最少自乘法，可求出該公式（$Z=ax+by+c$）內之

a, b 及 c 值；換言之，由測定粘粒及有機質含量，可依該公式推算 C.E.C. 含量之梗概。

公式：$Z=ax+by+c$

Z （C.E.C. 含量）　　X （粘粒含量）

Y （有機質含量）　　C （常數）

應用本研究附錄之分析結果資料，將各種冲積土類之粘粒含量、有機質含量及 C.E.C. 含量代入上式，經統計計算而求出 a, b 及 c 值等如表九。

表九　應用本研究資料計算 C.E.C. 公式之 a.b.c. 值

Table 9. Calculated value conduced by the recommendation formular

土類 Soil groups	a	b	c	r	F*	F 5% 1%	s**	S.N.***
粘板岩質冲積土 Slate alluvial soils	0.114	0.970	2.33	0.72	26.40	3.19 5.08	2.13	52
砂岩頁岩質冲積土 Sandstone & shale alluvial soils	0.123	−0.079	3.75	0.61	9.98	3.28 5.29	1.64	37
片岩質冲積土 Schist alluvial soils	0.058	0.054	7.46	0.19	N.S.	3.59 6.11	3.05	20
安山岩質冲積土 Andesite alluvial soils	0.014	0.018	22.13	0.13	N.S.	3.55 6.01	71.08	21
紅黃壤 Latosols	0.044	0.835	6.52	0.22	N.S.	3.19 5.08	2.42	51

F*: Coefficience of correlation. 相關係數

s**: Standard error. 標準誤差

S.N.***: Samples number. 樣本數

照公式算出上表，砂頁岩質冲積土中之有機質結果爲負數，似顯示該類土壤之有機質對 C.E.C. 無影響；常數高除顯示有機質及粒粘外，尚有其他因子所影響。在相關係數中，除粘板岩質及砂頁岩質冲積土外，其他冲積土及紅黃壤無顯著相關，尚有其他不明原因，有待進一步之研究，故推薦式僅適用於粘板岩及砂頁岩兩種冲積土。照上表將粘板岩質冲積土及砂頁岩質冲積土之實際演算，推薦估計公式如下：

（A）粘板岩質冲積土

C.E.C.=0.114×粘粒含量%+0.97×有機質含量%+2.33

（B）砂岩頁岩質冲積土

C.E.C.=0.123×粘粒含量%+（−0.079）×有機質含量%+3.75

（2）推薦式與通用式之比較

應用粘粒含量及有機質含量之百分數以估計 C.E.C. 之結果，茲述既有通用之估計法與本研究之伸算法茲就附錄分析結果中，隨意抽樣 20個，分別以兩種方式計算，比較實際分析之 C.E.C. 值，如表十。

表十　推薦式與通用式比較實例

Table 10. Some examples of C.E.C. conducted from the formular by recommendation or by current method.

土樣號碼 Sample number	土類 Sub-groups	土質 Soil Texture	粘土 % Clay %	有機質 % Organic matter %	陽離子交換能量 C.E.C. m.e./100g. A*	B**	A—B	C***	C—B
1	砂岩頁岩質冲積土 Sand-stone & shale alluvial soils	C.L.	34.74	2.32	8.84	5.70	+ 3.24	22.01	+16.31
5		L.	25.70	0.61	6.86	6.90	− 0.04	14.07	+ 7.17
23		C.	45.04	3.07	9.09	9.90	− 0.81	28.84	+18.94
26		S.L.	19.70	1.31	6.07	4.90	+ 1.17	12.47	+ 7.57
30		S.L.	11.64	0.81	5.12	4.00	+ 1.12	7.44	+ 3.44
47		C.L.	33.04	1.68	7.68	7.67	+ 0.01	19.88	+12.21
50		C.L.	35.04	1.33	7.75	5.90	+ 1.85	20.18	+14.28
52		L.	19.04	1.06	6.00	5.63	+ 0.64	11.64	+ 6.28
53		L.	23.04	0.77	6.52	5.14	+ 1.38	13.06	+ 7.92
59		C.L.	32.64	2.38	7.75	7.64	+ 0.11	21.08	+13.44
10	粘板岩質冲積土 Slate alluvial soils	C.L.	30.74	2.38	8.24	10.09	− 1.85	20.13	+10.04
35		L.	19.82	1.60	6.14	4.20	+ 1.94	13.11	+ 8.91
40		Si. C.	42.82	2.08	9.34	9.00	+ 0.34	25.57	+16.57
42		S.C.L.	37.82	1.73	8.32	6.18	+ 2.14	22.37	+16.19
63		C.L.	39.40	1.81	8.58	9.16	− 0.58	22.32	+13.16
66		C.L.	32.70	1.94	7.94	8.36	− 0.42	20.23	+11.87
90		C.L.	33.40	2.74	8.79	6.30	+ 2.49	22.18	+15.88
96		Si.C.	41.40	2.69	9.66	9.02	+ 0.62	25.08	+16.06
102		Si.C.L.	38.40	1.70	8.36	7.90	+ 0.46	22.60	+14.70
105		Si.C.	40.40	1.93	8.97	4.69	+ 4.28	24.06	+19.37

* A:由推算公式所計算之結果 (results from calculating by recommendation formula)

** B:原分析結果 (result from chemical analysis)

*** C:通用估計法計算結果 (result from calculating by current estimated methods)

表十中抽樣共20個，包括砂岩頁岩質冲積土及粘板岩冲積土各10個樣本，以原分析結果 C.E.C. 值與推薦式計算法及通用估計法之比較結果，說明如下：

（1）一般言之，應用推薦式伸算之結果與原分析之結果相差不多，二十個土壤中有十六個土壤樣本差異均少，均在 ±2m.e. 以下。

（2）應用通用式推算結果，與原分析結果相差頗大，在 10m.e. 以上者佔四分之三土壤樣本。

換言之，由推薦式計算之 C.E.C. 結果數值較小，與化學分析之結果較爲接近；由通用法推算結果之數值較大，與化學分析之結果較爲遠離。

本省稻田土壤之有機質含量多偏低，而粘土礦物中以依來石 (Illite) 及高嶺石 (Kaolinite) 較多（9），因而 C.E.C. 分析結果多偏低，與本研究之推算結果，較爲接近。

茲爲確認該推薦式之能否實用，試就省農業試驗所各土壤調查報告中，隨意選出粘板岩質冲積

土之土壤樣本四個，砂岩頁岩質冲積土之土壤樣本十二個，該項樣本有分析記錄及土型之記載，將其代入上列之公式（A）及（B）計算其結果，而與原分析結果，及計算通用式之結果比較之，如表十一

表十一　推薦式與通用式計算與其他分析結果之比較

Table 11. Other analysis example of C.E.C. conducted from the formular by recommendation or by current method

土樣號 Sample number	亞土類 Sub-groups	土型 Soil types	粘粒% Clay %	有機質% Organic matter %	陽離子交換能量 C.E.C. m.e./100g A*	B**	A—B	C***	C—B	資料來源 Data based on
A 1—006—1	粘板岩質冲積土 Slate alluvial soils	S. L.	5.74	1.15	4.10	3.94	+0.16	5.17	+ 1.23	(3)
A13—004—1		S. L.	8.60	2.18	4.46	9.80	−5.34	8.68	− 1.12	(5)
A13—006—1		C. L.	17.00	1.31	5.54	5.40	+0.14	11.20	+ 5.80	(5)
A13—012—1		C. L.	20.90	1.19	5.90	6.50	−0.60	12.83	+ 6.33	(4)
A 5—006—1	砂岩頁岩質冲積土 Sandstone & shale alluvial soils	S.C.L.	15.55	1.57	5.54	5.06	+0.48	10.92	+ 5.88	(3)
A 5—005—1		S. L.	5.97	1.73	4.35	8.10	−3.75	6.65	− 1.85	(3)
A 5—010—1		C. L.	15.31	1.67	5.50	5.57	−0.07	11.00	+ 5.43	(3)
A 5—011—1		C. L.	32.52	1.39	7.64	2.51	+5.13	15.04	+12.53	(3)
A10—006—1		C. L.	17.10	1.41	5.74	6.00	−0.26	11.37	+ 5.37	(5)
A28—011—1		S. L.	14.60	1.83	4.10	5.00	+0.90	10.96	+ 5.96	(8)
A33—001—1		S. L.	14.00	0.93	4.74	8.90	−4.16	8.89	− 0.01	(7)
A33—001—2		S. L.	21.70	0.63	5.92	7.80	+1.88	12.11	+ 4.31	(7)
A33—001—3		S. L.	22.40	0.56	8.30	6.90	+1.40	12.32	+ 5.42	(7)
A35—001—3		S. L.	11.70	0.23	5.00	5.60	−0.60	6.11	+ 0.51	(7)
A35—002—1		S. L.	5.00	0.52	3.95	7.70	−3.75	2.76	− 4.94	(7)
A36—002—3		C. L.	20.10	0.27	6.01	5.50	+0.51	10.59	+ 5.09	(7)

*,**,***, 與表十同

上表係在農試所之土壤調查報告中所抽出樣本16個，其原分析結果與推薦式計算比較，C.E.C. 值相差 ±1m.e./100 克以下者佔九個，與通用式比較在 ±1m.e./100 克以下只兩個 5m.e./100 克以上者九個樣本，亦即推薦式較通用式之推算爲接近實際。

六、結　論

本省稻田土壤之 C.E.C. 含量均不高，都在 25m.e./100克 以下，總平均值約爲 10m.e./100克左右，最低者爲 1.47m.e./100克，高低間差異以冲積土爲顯著，隨母質之不同而顯有區別，母質屬安山岩質者較高，片岩質次之，粘板岩質又次之，砂岩頁岩質最低，紅棕壤或黃棕壤水稻田，質地多屬粘重，影響不大。有機質之影響亦以冲積土隨其含量有正相關之關係，紅棕壤或黃棕壤稻田則影響不大。本研究從分析各土樣之粘土與有機質含量演繹爲二簡單方程式：

（A）C.E.C.=0.114×粘土含量%.97×有機質含量%+2.33（粘板岩質冲積土）

（B）C.E.C.=0.123×粘土含量%+（−0.079）×有機質含量%+3.75（砂岩頁岩質冲積土）

自上兩式推算 C.E.C. 之含量，以簡化對水稻田土壤 C.E.C. 之估計，尚適合於實際應用。

七、摘　要

本研究先整理過去本省土壤調查有關稻田土壤陽離子交換能量資料統計於表一，續就本省稻田根據其土類，亞類分別期作後，採集土壤樣本，進行其陽離子交換性質之分析，包括之項目計有C.E.C.置換性鉀、鈉、鈣、鎂及氫，與數項主要理化性質分析，如 PH 有機質及全氮量等，分析之樣本共183 個，包括64個土壤剖面。研究之目的有二：

（一）討論本省稻田土壤之 C.E.C. 與其產量之關係。

（二）申述 C.E.C. 與稻田土壤暨其他主要理化性之關係，進而推論本省稻田土壤肥力隱藏之梗概。

試驗結果詳見附錄之各項分析實績，摘錄如下：

1.本省稻田土壤，大部屬冲積土類，小部份屬紅棕壤或黃棕壤。各類土壤之陽離子交換能量（C.E.C.）見表二。以安山岩質冲積土之 C.E.C. 最高，黃棕壤次之，紅棕壤又次之，片岩質冲積土再次之，粘板岩質冲積土及砂岩頁岩質冲積土均較低。

2.稻田土壤剖面各層之 C.E.C. 含量見表三。一般言之，冲積土以表土偏高，亞表土次之，底土較低；至紅棕壤或黃棕壤則適相反。

3.稻田土壤之質地與 C.E.C. 含量見表四。各平均值之趨勢，以質地愈粘重者 C.E.C. 含量愈高，反之則愈低。

4.稻田土壤有機質與C.E.C.含量見表五。其間之關係冲積土係爲正相關，即有機質愈高C.E.C.含量亦高，反之則愈低。

5.稻田土壤 PH 值與鹽基飽和度，見圖1：A 與 B，C 與 D，因土類不同，PH 值與鹽基飽和度之相關趨勢略異，紅棕壤或黃棕壤稻田土壤屬强酸性，其鹽基飽和度較低，PH 與飽和度之升降均較窄；冲積土稻田土壤 PH 與飽和度之升降則較寬。

6.稻田土壤因採集期不同，C.E.C. 含量見表六。一般言之，一期作後之土壤 C.E.C. 較二期作後者爲低，惟高出之平均值則有限。

7.稻田土壤 C.E.C. 與產量之統計如表七。就表中之表土平均值言，高產量稻田之 C.E.C. 含量較高，反之低產量者較低，惟其相差數值不大，尚難據以作爲闡釋產量之關係。

8.本省稻田土壤 C.E.C. 含量與地區性之關係，見表八。一般言之，北部稻田土壤 C.E.C. 含量最高，東部次之，中部再次之，以南部爲最低。

9.根據本研究全省稻田土壤之分析結果，由其粘粒與有機質含量與 C.E.C. 之關係，應用統計原理之最少自乘法，推薦 C.E.C. 之粗略推算公式，計算結果見表九。可採用者有二：

A. C.E.C.=0.114×粘土含量%+0.97×有機質含量%+2.33（粘板岩質冲積土）

B. C.E.C.=0.123×粘土含量%+（−0.079）×有機質含量%+3.75(砂岩頁岩質冲積土)

10.比較本研究之推薦式與通用之統計方式，無論應用本研究之 C.E.C. 分析結果或過去之分析結果，均係推薦法較通用法爲優，見表十與表十一。

八、參考文獻

1. 臺灣省水稻低產量地區抑制產量因素調查　1964臺灣省政府農林廳編印
2. 茹皆耀、華　孟（1947）臺中縣之土壤　臺灣省農業試驗所專報第六號
3. 梁鉅榮等　（1951）臺南縣之土壤　臺灣省農業試驗所報告第六號
4. 梁鉅榮、陳春泉（1943）高雄縣之土壤　臺灣省農業試驗所報告第十一號
5. 梁鉅榮等　（1954）屏東縣之土壤　臺灣省農業試驗所報告第十四號
6. 陳春泉、梁鉅榮（1962）桃園縣之土壤　臺灣省農業試驗所報告第二十一號

7. 曾浴沂等等 (1963) 新竹縣之土壤 臺灣省農業試驗所報告第二十二號
8. 朱惠民、梁鉅榮 (1964) 苗栗縣之土壤 臺灣省農業試驗所報告第二十三號
9. 張仲民 臺灣沖積土之剖面形態及粘土礦物研究 中國化學會誌第三、四期
10. 徐水泉、溫西濱 (1969) 尿素在水田土壤中之銨化作用 省農試所農業研究第18卷第一期
11. 黎靜韻、梁鉅榮 本省水稻田土壤之生成研究。
12. 李水龍、湯文通 (1963) 臺灣水稻第二期作單位面積產量不如第一期作原因及其改良方法科學農業第十一卷、第一、二期。
13. Mehlich, A (1948) Determination of Cation and anion exchange properties of Soil Sic. 66 : 429—445
14. M.L. Jackson (1958) Soil Chemical analysis
15. Buckman, H.O. of Brady, N.C. (1969) The nature and properties of Sails 7th edit p. 93—104
16. Bear, F. F. (1964) Chemistry of the Soils, Chapt. 4. p.185—193.

STUDY ON THE CATION EXCHANGE PROPERTIES OF THE PADDY SOILS IN TAIWAN

Ching-yuan Lai

SUMMARY

This study starts with the general review on some evidences being found from the soil survey data and recent studies on cation exchange capacity of the paddy soils in Taiwan. The data in table 1. is based on the study on 64 of soil profiles and 183 of soil samples which were classified according to great soil groups, sub-groups and time of sampling. The properties of cation exchange include C.E.C., exchange K, Na, Ca, Mg and H, other physico-chemical properties such as mechanical analysis, PH value, organic matter and total nitrogen are also taken into consideration. There are two main purposes of this study : 1. To discuss the relationship between C.E.C. of the paddy soils of Taiwan and the yield of rice. 2. To explain the C.E.C. in relation with other properties of the paddy soils and to understand its fertility status. The results are shown on the tables in the appendixes. They may be summarized as follows :

1. The paddy field of Taiwan is largely belonging to alluvial soils and a small part is belonging to reddish brown latosols or yellowish brown latosols. The C.E.C. of those soils are shown on table 2. The C.E.C. 's of different soils come in descending order as following : andesite alluvial soils, yellowish brown latosols, reddish brown latosols, schist alluvial soils, slate alluvial soils and the sandstone and shale alluvial soils.

2. The C.E.C. of the separate layers of the soil profile of the paddy field is shown on the table 3. In general, the surface soils of the alluvial soils have higher C. E. C. However this is not true for the reddish brown latosols and yellowish brown latosols.

3. The relation of C.E.C. to the texture of the paddy soils is shown on table 4. It reveals a rough relation between the texture and the C.E.C., i.e. higher C.E.C. is related ot

fine texture.

4. The C.E.C. and organic matter content of the paddy soils is shown on table 5. There is a proportional relationship between them. In other word, the C.E.C. increases with organic matter content.

5. The correlation between the percentage base saturation of the paddy soils and their pH is shown on Figure 1 : A& B, C & D. It shows different trends as in different soil groups, the percentage base saturation of the reddish brown latosols and the yellowish brown latosols have smaller variation, in the alluvial soils the variation is usually greater.

6. The C.E.C. 's for the different times of sampling are shown on table 6. Generally speaking, the C.E.C. measured after the first corp is lower than after the 2nd crop, but the difference is very limit.

7. The C.E.C. with the yeild of rice is statistically analyzed as table 7. It reveals that C.E.C. tends to increase yeild of paddy soils but the difference is not apparent, so it hardly explains their correlation between them.

8. The C.E.C. 's for the different localities are shown on table 8. In general,it shows that the soils of the northern part have high content of C.E.C. the eastern part the second, the central part the third, and the southern part the lowest one.

9. Two experimental formulars are recommended based on the analysis results of this study they are :

(A) C.E.C.=0.114×Clay% +0.97×organic matter%+2.33 (for slate alluvial soils)

(B) C.E.C.=0.123×Clay%+ (−0.079) ×organic matter%+3.75
(for sandstone and shale alluvial soils)

10. The recommendation method is better than the current method by comparison of the two system whatever use of the results of this study or the published data. The result is shown on table 10 and 11.