

幾種影響巴拉刈在土壤中的吸附 與脫附之因子的探討

陳鴻基¹ 李國欽²

Abstract

Chen, H. J. and G. C. Li. 1991. Investigate the Various Factors Which Affect the Adsorption and Desorption of Paraquat on the Soils. Weed Science Bulletin 12: 14-26.

The adsorption and desorption of paraquat on and from the soils had been carried out by using twelve different soils to which the pH had been adjusted, or the organic matter, free iron oxides had been removed. The results indicated that under the alkaline condition, the higher the kaolinite, organic matter and free iron oxides contents, the higher the percentage of pH-dependent adsorption in the total adsorption. Apparently, there was a positive correlation between negative charges of the soils and the percentages of pH-dependent adsorption. The percentage of desorption of paraquat from pH-dependent charges was higher than from permanent charges. There were no significant differences between the amount of adsorption of paraquat on the soil before and after the organic matter and free iron oxides were removed. This was probably caused by the exposure of clay surface which was covered by the organic matter and free iron oxides in the original soils. The amounts of paraquat desorbed from the soils of which the organic matter and free iron oxides were removed, were higher than those of other soils. This indicated that the paraquat on the surface of clay minerals was easier desorbed than on the other surface. Under pH 4 condition, the contribution of organic matter and free iron oxides on the adsorption of paraquat was not significant. Under pH 9 condition, significant increase in the amount of adsorbed paraquat was found in the soils with the increase of organic matter

1. 國立中興大學土壤系助教

2. 台灣省農業藥物毒物試驗所所長

and free iron oxides.

Key words: Paraquat, Adsorption, Desorption, Permanent charge.

摘要：將巴拉刈與十二種不同理化性質，且經過不同酸鹼處理，不同 pH 以及分別移除有機質、游離氧化鐵等之土壤做等溫吸附與脫附試驗。結果指出當移除有機質和游離氧化鐵時巴拉刈在試驗土壤上的吸附量並無顯著減少趨勢，此與有機質在粘礦表面的覆蓋情形以及離氧化鐵之含量有關。所有土壤的脫附量均以沒有有機質和游離氧化鐵時為最多，顯示純粹粘礦表面吸附的巴拉刈較容易脫附。比較三種供試土壤發現吸附量與脫附量會隨 pH 之增加而增加。吸附量方面以含有機質、游離氧化鐵較多的土壤會因 pH 之改變而改變較大，脫附量則以高嶺石較多的土壤因 pH 之改變而改變較大。有機質和游離氧化鐵在 pH 4 時不能表現其在吸附上的貢獻，在 pH 9 時則較能表現出因含量不同所造成的吸附量之差異。

關鍵字：巴拉刈、吸附、脫附、永久性電荷。

緒 言

了解巴拉刈在土壤中的轉變行徑對於在農業上如何有效地使用此殺草劑非常重要。因為很多農藝及園藝上的應用均依賴於其接觸到土壤後迅速消失的情形來決定。因此討論有關巴拉刈在土壤中的轉變行徑，需要瞭解造成其失去活性的原因。巴拉刈在陽離子交換樹脂、活性炭、粘土礦物上均具有很強的吸附力，在粘土礦物上的吸附量有大到 $494 \mu \text{mole/g}^{(19,20,21)}$ 者。離子交換被認為是土壤有機質吸附巴拉刈之主要機制⁽⁴⁾，以後又有提出價電荷的轉移，可能也是貢獻這種吸附的一個原因⁽¹⁶⁾。土壤中的有機質的吸附能力與粘土礦物不同，一些研究者指出粘土礦物對巴拉刈的吸附量要比有機質者多⁽⁵⁾，有機質中黃酸與粘土礦物交互結合後有助於對巴拉刈的吸附作用⁽¹⁶⁾。有機質膠體的幾何結構和雙吡啶陽離子的形狀，大小及特性均影響這殺草劑的吸附量⁽¹⁷⁾。巴拉刈，代刈與鈣離子三者在有機質上會競爭吸附，當 pH 低時其吸附順序為巴拉刈 > 代刈 > 鈣離子，在 pH 高時則其順序為鈣離子 > 巴拉刈 > 代刈⁽³⁾。在含有腐植酸的水溶液系統中，巴拉刈被腐植酸吸附的量隨 pH 值增加而增加⁽¹⁸⁾。Hayes 等⁽¹²⁾指出構造複雜的粘土礦物表面若覆蓋有機質，游離氧化鐵則將大大地增加對巴拉刈的吸附，但 Faust 和 Zarins⁽⁶⁾曾指出帶有負電荷的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體表面對巴拉刈並無明顯的吸附作用，而 Juo 和 Oginni⁽¹⁴⁾卻指出一個富含游離氧化鐵而 CEC 很低的土壤對巴拉刈有很大的吸附量。雖然 Gamar 與 Mustafa⁽⁹⁾指出巴拉刈在自然土中的吸附量與 CEC 有明顯相關，但其所用土壤均在 pH 7.8 ~ 9.3 的鹼性條件下較能反應出 CEC 之影響性，若在一較酸的土壤則情形不同。如 Juo 和 Oginni⁽¹⁴⁾以 pH 4.2 ~ 6 的酸性土壤試驗結果，發現巴拉刈的吸附量與 CEC 及游離氧化鐵之量有明顯相關。然而，在較酸的條件下，游離氧化鐵是否能表現出其負電性，是否會依其含量增加而增加對巴拉刈的吸附則有待探討。且其所用土壤之游離氧化鐵含量與粘粒含量有明顯相關，此游離氧化鐵的作用，也只不過反應出粘粒的作用。以上研究多半僅指出有關粘土礦物、有機質等因子對巴拉刈的吸附性質和吸附量上的探討，並未明確地定量出各因子在吸附上的大小以及在有關脫附上的種

種影響性。因此，本實驗之目的乃為求各因子在巴拉刈的吸附和脫附上之影響量的大小，且對各因子間的共同關係，作綜合性的探討。

材料與方法

供試藥劑及分析方法

殺草劑巴拉刈 (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridylium dichloride compound) 係採用 ICI 公司所提供 (純度為 99%)。利用 UV-Spectrophotometer (UVIDEC-61°C)。並以 Na₂S₂O₄ 溶於 1M NaOH 所配成之 1% 溶液當呈色劑，將欲測試之溶液與呈色劑以 5:1 之比例混合，然後在 395.2 nm，389.6 nm，及 404.0 nm 三種波長下測定吸光度並據以計算巴拉刈之濃度。

供試土壤

本實驗所用土壤採自八種宜蘭地區土壤，計土場系 (G14，D9，及 B21)，南山系 (B11)，石坑山系 (G5，G6)，棲蘭山系 (D3，D7)，以及四種嘉南地區土壤五里林系 (S13)，鹿港系 (S29)，五甲勢系 (S11)，中萬甲系 (S5)。經風乾，磨碎，過 2mm 篩供作理化性質及粘土礦物種類之分析^(1,2,10,13)，結果見表一和表二。

表一、供試土壤之特性

Table 1. The characteristics of soils used in the experiments.

Soil no.	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Texture ^(a)	pH	O. M. (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CEC (cmol/Kg)
S13	10.6	28.2	61.2	SL	5.61	1.38	0.99	7.75
S29	30.8	45.8	23.4	CL	6.82	2.76	1.27	9.13
S11	20.2	45.7	34.1	L	6.20	2.05	1.92	12.38
S5	8.8	25.9	65.3	SL	5.31	1.08	1.22	8.50
G14	6.8	31.1	62.1	SL	5.32	1.27	1.35	8.25
D9	11.4	36.1	52.5	SL	4.81	2.55	2.33	12.13
B21	12.0	43.4	44.6	L	5.32	5.07	1.71	15.38
B11	15.8	55.0	29.2	SiL	5.01	2.19	1.77	16.63
G6	15.0	56.3	28.7	SiL	4.95	3.74	1.69	11.50
D3	16.0	60.9	23.1	SiL	4.41	5.27	4.65	16.75
D7	32.0	41.1	26.9	CL	4.62	2.35	4.55	13.63
G5	39.4	42.2	18.4	SiCL	4.80	1.61	4.29	11.75

^(a)SL = Sand loam, L = loam, SiL = Silt loam, SiCL = Silt clay loam, CL = Clay loam.

土壤在不同條件處理後對巴拉刈的吸附與脫附

上述十二種土壤分別稱取 1 gm 移至三支 50 ml 離心管內，第一支離心管添加 25 ml pH 5 之醋酸鈉溶液，在 100°C 水浴下加熱 30 分鐘，且連續不斷攪拌後，離心倒掉

表二、供試土壤之粘土礦物成分

Table 2. The clay mineral composition of soils used in the experiment.

Soil no.	Clay mineral composition ^(a)						
	K	I	V	C	M	F	Q
S13	+	+++	—	+	—	—	+
S29	++	++++	+	+	—	+	+
S11	+	+++	+	—	—	—	+
S5	++	++++	+	+	—	+	—
G14	+	+++	+	+	—	+	+
D9	+	++++	+	+	—	+	+
B21	++	++++	+	+	—	+	+
B11	+++	++++	+	+	—	+	+
G6	+	+++	++	—	+	+	+
D3	+	++	++	—	+	+	+
D7	+	+++	+	—	+	++	+
G5	+	++	+	—	+	++	+

^(a)K = Kaoilinite, I = illite and micas, V = vermiculite, C = chlorite, M = montmorillonite, F = feldspars, Q = quartz, ++++ = very abundant, ++ = abundant, += present, + = scarce.

上層液；第二支離心管除了像第一支離心管土樣移除碳酸鹽外，另外再添加 25 ml pH 為 9.5 之含 12.5% (v/v) 次氯酸鈉水溶液，在沸騰水浴加熱 15 分鐘，離心倒掉上層液，如此連續 2 次；第三支離心管除了像前面第二支離心管移除碳酸鹽和有機質外，再添加 24 ml 0.3 M 檸檬酸鈉和 3 ml 0.5 M 之碳酸氫鈉在 80°C 之水浴中加熱（不能超過 80°C），加熱 2 分鐘後，添加 0.4 gm 之硫代硫酸鈉並攪拌 1 分鐘，持續 10 分鐘，離心倒掉上層液，以上三支離心管土樣經由不同處理後，均用 25 ml 去離子水連續洗滌 2 次，再分別添加 25 ml 114.5 ppm 之巴拉刈溶液，上述三種處理土樣均需另外做一空白試驗（土樣不處理，但添加巴拉刈溶液，所有土樣振盪 1 小時後，於 1870 × g 下離心 30 分鐘，取離心液測定巴拉刈濃度。各支離心管之沉積物以去離子水洗滌 1 次，倒掉洗滌液，再分別添加 25 ml 去離子水，振盪，離心，測定離心液之巴拉刈濃度，依相同手續連續脫附 3 次，並測定每次離心液之巴拉刈濃度。以上試驗均做兩重覆。

土壤在不同 pH 下對巴拉刈的吸附與脫附

S29, G14 及 D3 三種土壤，分別稱取 0.5 gm 各 8 份，各份移至 8 支 50 ml 離心管內，除了四支作為空白試驗不加巴拉刈外，另四支各添加 25 ml 114.5 ppm 的巴拉刈溶液，而不管空白試驗的四支土樣或處理試驗的四支土樣，分別用 1M NaOH 或 HCl 調成 pH 4, 6, 7, 8 等四種不同的 pH 值，依上述相同方法進行等溫吸附試驗，各處理均做兩重覆。

各種處理土壤在不同 pH 值下對巴拉刈的吸附與脫附

S29, D3 兩種土壤,除了如上述試驗步驟分別除去碳酸鹽,有機質,游離氧化鐵的處理外,並分別將 pH 調至 4 與 9 兩種,然後添加巴拉刈溶液依上述相同方法進行吸附及脫附試驗。各處理均做兩重覆。

酸鹼處理後土壤對巴拉刈之吸附與脫附

取 50 ml 離心管 6 支,各加入 0.5 gm 之土壤,然後分別添加去離子水 0.05M HCl 25 ml,以及 0.05 M NaOH 25 ml,經振盪 1 小時後,以 $1870 \times g$ 離心 30 分鐘倒掉上層液,其中 3 支土樣做為空白試驗不添加巴拉刈溶液,另外 3 支土樣則添加 103.4 ppm 的巴拉刈溶液,然後依上述相同方法進行吸附及脫附試驗,共做兩重覆。

結果與討論

土壤在不同處理後對巴拉刈的吸附與脫附

為探討粘土礦物、有機質、游離氧化鐵等因素對吸附與脫附之影響,將供試土壤分別移除有機質、游離氧化鐵後比較個別土壤吸附與脫附之差異,結果見表三,除四種土壤 S13、S29、S11、S5 在經過有機質、游離氧化鐵移除後其吸附量上有逐漸減少的趨勢外,其餘土壤則會因游離氧化鐵之存在而有較高的吸附量。這可能表示在有機質移除後,使原來被覆蓋住的粘土礦物和游離氧化鐵露出而增加較多的吸附位置,因而吸附表現得較為顯著。Hayes 和 Himes⁽¹¹⁾指出存在於土壤礦物表面上的有機質可能以“島嶼 (Island)”似的方式結合在上面。此點說明有機質的移除可使粘土礦物露出的表面積增加,同時也使參予吸附作用之作用基的數量增加,所以移除有機質的土壤要比沒移除有機質的土壤吸附量多,但前四種土壤,其 B 處理均比 A 處理的吸附量要少(表三)。其原因可能與有機質的存在很有關係。大部分供試土壤在有機質及游離氧化鐵移除後均比未移除時吸附量少,顯然游離氧化鐵在巴拉刈的吸附上也有其重要的地位,但仍有少部份土壤因游離氧化鐵的去除而吸附量卻增加,可能游離氧化鐵上的吸附基數量少於因移除游離氧化鐵而增加的其他礦物表面的吸附基的數量。用上述試驗吸附有巴拉刈的土壤連續用水脫附三次的結果(表三)。所有土壤脫附均以移除有機質與游離氧化鐵後的脫附量為最多,表示在沒有有機質和游離氧化鐵存在時的脫附量要比有機質或游離氧化鐵存在時的脫附量多,顯然粘土礦物上所吸附的巴拉刈較易脫附。

土壤在不同 pH 下對巴拉刈的吸附與脫附

為了解不同 pH 對吸附的影響,分別以 S29、G14、D3 三種土壤,將此三種土壤的 pH 值分別用 1M HCl 及 1M NaOH 調至 pH 5、6、7、8 四種條件。以此土壤做等溫吸附試驗,發現三種土壤的巴拉刈吸附量均有隨 pH 之升高而增加的趨勢(見圖一),其影響大小順序為 $D3 > G14 > S29$,而供試土壤原來的 pH 大小順序為 $S29 > G14 > D3$ (表一)。pH 較小者其吸附量受 pH 影響較大,當 $pH > 7$ 以上時,土壤 D3 所受的影響最大,因為 D3 土壤的游離氧化鐵含量是最高,故 pH 增加的影響可能與游離氧化鐵有關。在 pH 5 時的吸附量大小順序 $S29 > D3 > G14$,此時 pH 依賴性電荷在吸附量上的影響較小而受永久性電荷之影響性較大。巴拉刈在不同 pH 情形下經土壤吸附,用此吸附有巴拉刈之土壤連續用水脫附三次的脫附試驗結果(圖二)。在脫附量上的變化大小順序 $S29 > G14 > D3$,此順序與上述的吸附量順序剛好相反,這是

表三、巴拉刈在不同處理土壤中之吸附與脫附量

Table 3. The adsorption and desorption of paraquat by soils with different treatments.

Soil no.	Adsorption ^(a) ($\mu\text{g/g soil}$)			Desorption ^(a) ($\mu\text{g/g soil}$)		
	A	B	C	A	B	C
S13	4056.5	3862.5	3052.5	92.25	58.65	310.65
S29	5093.0	4520.0	4285.0	67.15	70.15	284.75
S11	5618.0	5222.5	4517.0	102.40	59.50	251.15
S5	3669.5	3480.0	3370.0	84.15	60.35	308.55
G14	3534.0	3905.0	4370.0	61.20	35.30	115.20
D9	4727.5	5072.5	4900.0	30.15	26.80	128.35
B21	4549.5	4860.0	3922.5	18.30	86.75	263.45
B11	3364.0	3820.0	3072.5	85.40	47.60	283.05
G6	4001.0	4945.0	4157.5	40.80	54.85	315.35
D3	3941.5	4987.5	4135.0	105.40	31.45	344.20
D7	4558.0	5285.0	4602.5	54.00	31.90	222.25
G5	4286.0	5442.5	4370.0	163.65	26.75	302.15

^(a)A=carbonates and soluble salts were removed.

B=carbonates, soluble salts and organic matter were removed.

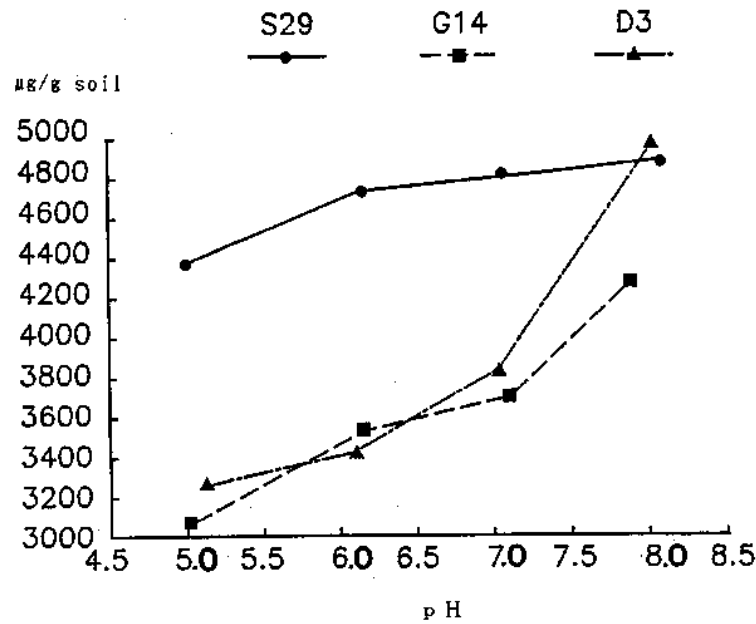
C=carbonates, soluble salts, organic matter and free iron oxides were removed.

因為 S29 土壤所含的高嶺石含量較多（表二），高嶺石的 pH 依賴性電荷較其他粘土礦物高出甚多^(7,8,15)，由此似可證明由於高嶺石上的 pH 依賴性電荷的關係，促使巴拉刈較容易脫附。土壤 D3 明顯地表現出其脫附量上的變化不大，此土壤所含的有機質、游離氧化鐵、蒙特石的含量均為三種土壤中之最高者。在 pH < 6 時，三種土壤在脫附量上大小順序為 D3 > S29 > G14，這與其所含有機質量的順序相同，顯示與有機質的關係較大，而與其所含粘粒的含量較無顯著關係。在 pH > 7 時，三種土壤在脫附量上的順序關係為 S29 > G14 > D3，而此結果可能與原來的吸附量大小有關，但也有可能是來自於高嶺石、蒙特石、與有機質含量上的差異所致。

綜合以上討論，當 pH 較低且含蒙特石、有機質、游離氧化鐵含量較高時，因 pH 之改變所造成吸附量上的差異較大，而在脫附量上的變化則較小。

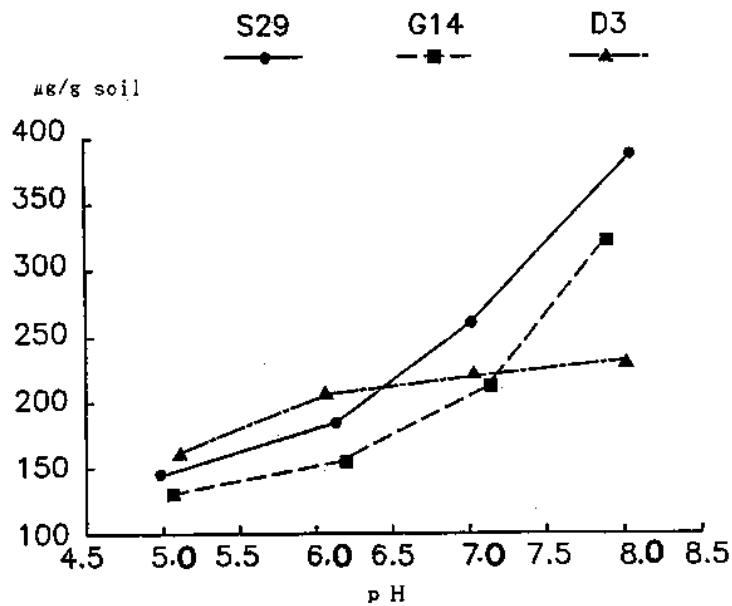
經不同處理後之土壤在不同 pH 值下對巴拉刈的吸附與脫附

為了解與求證三種處理（表三）在兩種 pH 下對吸附與脫附的影響關係，選用 pH 值、有機質、游離氧化鐵等含量差異較大的兩種土壤 S29 及 D3 來比較。試驗結果（圖三），顯示供試之兩種土壤在 pH 9 時，沒有移除有機質及游離氧化鐵，移除有機質，以及移除有機質及游離氧化鐵等三種不同處理，在吸附量上均有逐漸減少的情形，減少



圖一、三種供試土壤在不同 pH 值下對巴拉刈之吸量附量

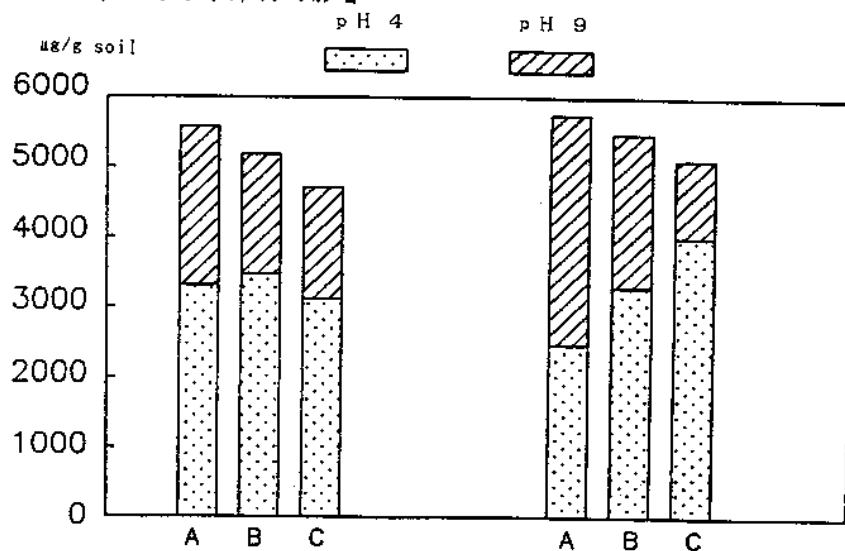
Fig. 1. Adsorption of paraquat on three soils with different pH.



圖二、在不同 pH 值下吸附有不同巴拉刈量之三種土壤用水連續脫附三次的脫附量

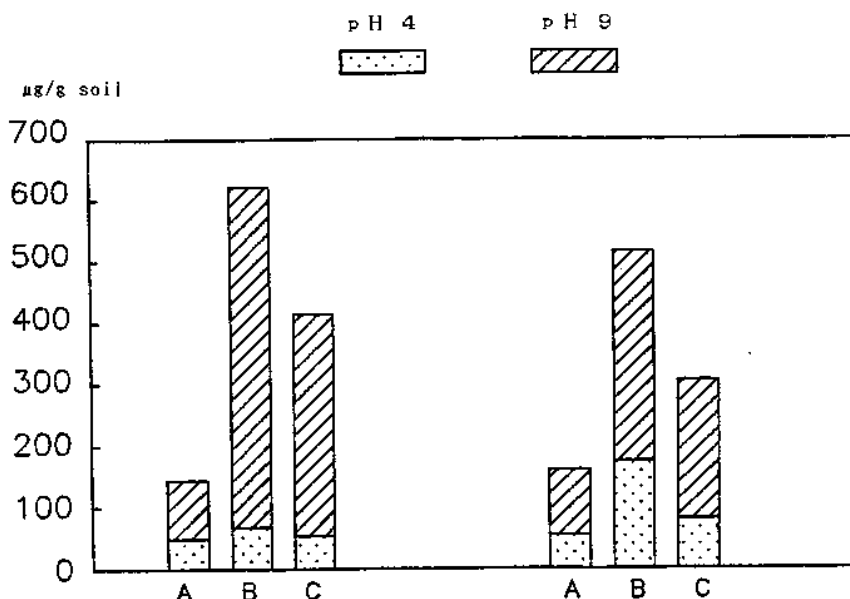
Fig. 2. Desorption of paraquat from three soils with different pH after 3 times of extraction with deionized water.

的趨勢 S29 要比 D3 明顯。D3 之有機質和游離氧化鐵的含量比 S29 大，顯示有機質和游離氧化鐵上的吸附基的數目比有機質、游離氧化鐵的移除後使土壤增加露出的吸附基數量為少，因此抵銷掉因有機質、游離氧化鐵之移除所減少吸附基的數量（見圖三）。若以兩種土壤均在 pH 4 時有機質和游離氧化鐵均移除後，在吸附量上的大小比較，以 D3 大於 S29。可能由於兩種土壤的礦物種類不同，由表二得知土壤 D3 的蛭石和蒙脫石含量均高於 S29。由圖三中得知，有機質、游離氧化鐵未移除時由 pH 4 與 pH 9 間吸附量的差異可看出由粘土礦物、游離氧化鐵、有機質三者的 pH 依賴性電荷在吸附上所貢獻的量。同理在有機質移除後，在 pH 4 與 pH 9 時吸附量之差異得知是由粘土礦物和游離氧化鐵上的 pH 依賴性電荷所貢獻。另外有機質和游離氧化鐵均移除後在 pH 4 與 pH 9 時吸附量之差異是由粘土礦物上的 pH 依賴性電荷所貢獻。根據這種差別可計算出有機質、游離氧化鐵、粘土礦物在總吸附量上之貢獻。例如：土壤 S29 的有機質所貢獻是 $562 \mu\text{g/g}$ ，游離氧化鐵是 $124.5 \mu\text{g/g}$ 、粘土礦物是 $1588 \mu\text{g/g}$ 。在土壤 D3 的有機質是 $1087.5 \mu\text{g/g}$ 、游離氧化鐵是 $1088.5 \mu\text{g/g}$ ，粘土礦物是 $1099.5 \mu\text{g/g}$ 。以上之數據可看出有機質、游離氧化鐵、粘土礦物含量增加時 pH 依賴性電荷對巴拉刈之吸附量增加。取上述試驗所得吸附有巴拉刈的土壤分別用水連續脫附三次的結果（圖四），得知兩種土壤來自於 pH 依賴性電荷上的脫附量均比永久性電荷上的脫附量多，而其中又以來自於粘土礦物上的 pH 依賴性電荷所貢獻的脫附量較大。這種脫附量，土壤 S29 大於 D3，這與前面所提到土壤 S29 含有較多量高嶺石有關。兩種土壤在有機質存在時的脫附量均顯著的減少，此可能因為有機質的存在對巴拉刈從粘土礦物和游離氧化鐵上的 pH 依賴性電荷上脫附有抑制的影響。



圖三、巴拉刈在不同 pH、不同處理的 S29 與 D3 土壤中之吸附量（符號 A，B，及 C 已在表三中解釋）

Fig. 3. Adsorption of paraquat on the S29 and D3 soils with different treatment and pH (symbols of A, B, and C were explained in Table 3).

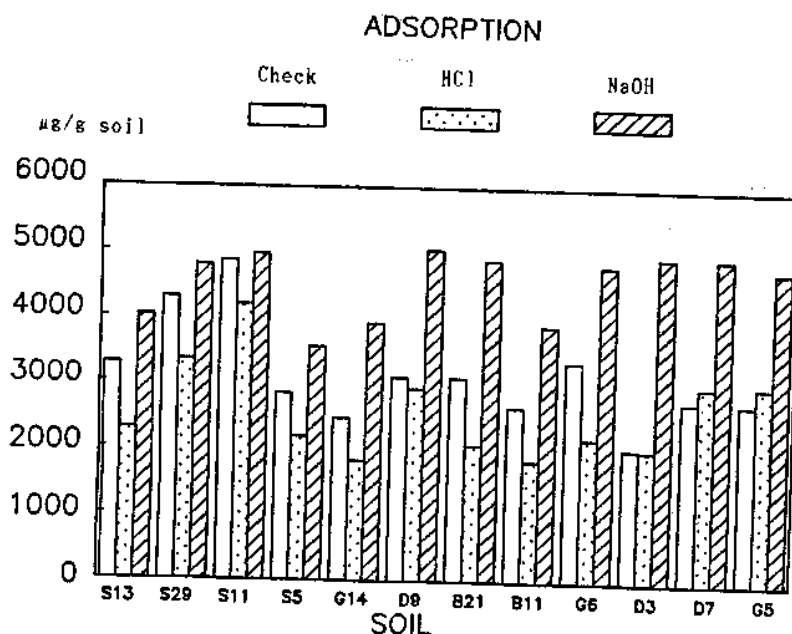


圖四、巴拉刈在不同 pH、不同處理的 S29 與 D3 土壤用水連續脫附三次的脫附量（符號 A，B，及 C 已在表三中解釋）

Fig. 4. Desorption of paraquat from the S29 and D3 soils with different treatment and pH after 3 times of extractions with deionized water (symbols of A, B, and C were explained in Table 3).

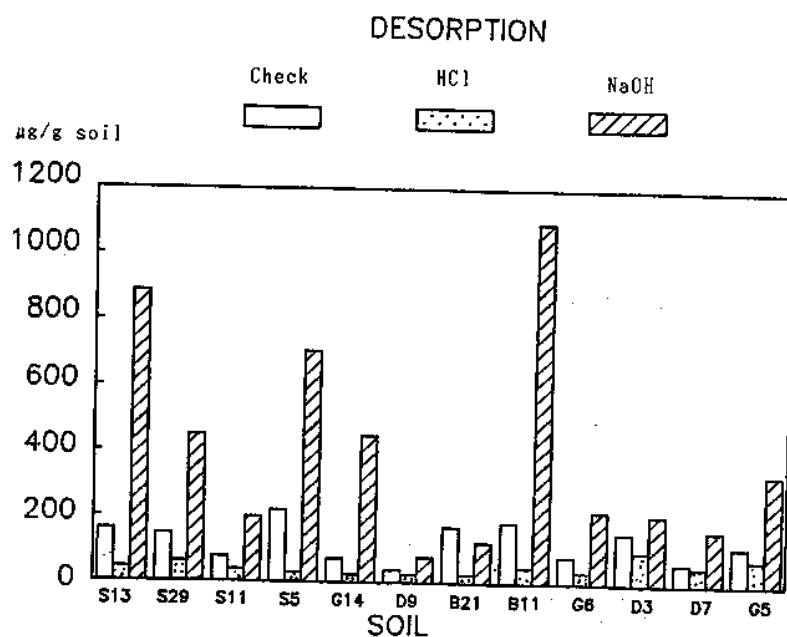
酸鹼處理後之土壤對巴拉刈的吸附與脫附

為了解土壤中受 pH 影響電荷與不受 pH 影響電荷在巴拉刈的吸附上所造成的差異，供試土壤分別用酸鹼處理後進行巴拉刈的等溫吸附試驗。由圖五可以看出供試土壤在酸鹼不同處理後在吸附量上所造成的差異。前面四種土壤（S13，S29，S11 及 S5）的差異較小，尤其是土壤 S29、S11 是所有試驗土壤中 pH 較高者，其差異比其他土壤還少，後面八種土壤（G14，D9，B21，B11，G6，D3，D7 及 G5）的差異較大，而這些土壤有一個共同的特色，即是它們的 pH 值均較低。這種差異大小可表示土壤膠體上 pH 依賴性電荷量之大小。pH 依賴性電荷量之差異可能是分別來自於無機膠體的粘土礦物及氧化物或有機膠體的腐植酸和黃酸等種類和數量上的不同。表四為根據圖五之結果所計算出巴拉刈在供試土壤之永久性電荷及 pH 依賴性電荷位置上之吸附量。比較表一、表二和表四得知高嶺石、有機質、及游離氧化鐵含量較多的土壤，其 pH 依賴性電荷位置對巴拉刈之吸附量佔總吸附量之百分率較大，如土壤 B21，B11，G6，D3 等。將經由酸鹼處理後吸附有巴拉刈的土壤用水連續脫附三次後，結果見圖六。由圖六得知脫附量差異較大的土壤為（B11，S13，S5，G14，S29），這些土壤均有一共通的特性是所包含的高嶺石量均較高，這與高嶺石之邊緣含有較多的 pH 依賴性電荷有關。十二種土壤中 D9 及 D3 土壤在脫附量上的差異最小，這些土壤的 pH 較低且有機質含量較高，但對土壤 B21，雖然其高嶺石含量多，有機質含量也很多，但在酸



圖五、供試土壤分別用 0.05 M HCl 和 NaOH 處理後對巴拉刈之吸附量

Fig. 5. Adsorption of paraquat on the soils treated with 0.05 M HCl and NaOH.



圖六、用 0.05 M HCl 和 NaOH 處理後，吸附有不同巴拉刈量之供試土壤用水脫附三次之脫附量

Fig. 6. Desorption of paraquat from the soils treated with 0.05 M HCl and NaOH after 3 times of extractions with deionized water.

表四、巴拉刈在供試土壤之永久性電荷及 pH 依賴性電荷位置上之吸附量

Table 4. Adsorption of paraquat by permanent and pH-dependent charge on the soils used in the experiment.

Soil no.	Adsorption($\mu\text{g/g}$) ^(a)			(A) - (B) ———(%)
	Alkaline (A)	Acid (B)	pH-dependent (A) - (B)	
S13	4030	2288	1743	43.25
S29	4795	3350	1445	30.14
S11	4965	4200	765	15.41
S5	3562	2180	1383	38.83
G14	3922	1820	2102	53.60
D9	5048	2925	2123	42.06
B21	4895	2075	2820	57.61
B11	3901	1840	2061	52.83
G6	4816	2180	2636	54.73
D3	4950	2010	2940	59.39
D7	4950	2985	1965	39.70
G53	4763	3006	1757	36.89

^(a) Adsorption in alkaline condition (A) = adsorption on permanent charge + adsorption on pH-dependent charge;

Adsorption in acid condition (B) = adsorption on permanent charge.

鹼處理後，其脫附量之差異並不大。因此，有機質含量較高時會使酸鹼處理後巴拉刈脫附量減少。表五為根據圖六之結果所計算出巴拉刈在供試土壤之永久性電荷及 pH 依賴性電荷位置上之脫附量。由表五得知從永久性電荷位置上脫附之百分率範圍為 0.90 ~ 4.98%，而來自 pH 依賴性電荷位置上所脫附之百分率有高至 50.90%。如土壤 B11（南山系），此土壤之高嶺石含量是所有供試土壤中最高者。由上顯示 pH 依賴性電荷位置上脫附百分率要比由永久性電荷位置上脫附百分率大。其原因可能由於鍵結種類的不同，水膜厚薄的不同，以及巴拉刈靠近吸附表面的方式不一樣等因素所造成。

綜合以上關係得知巴拉刈在不同土壤中的吸附，因粘粒含量、粘土礦物種類的不同而不同，除了由永久性電荷量大小來決定外，由 pH 依賴性電荷所構成的影響也很大。前者是由粘土礦物種類及含量所構成，後者則包含分別來自於粘土礦物、有機質、及游離氧化鐵等，在脫附方面，則主要受到粘土礦物上的 pH 依賴性電荷之影響較大。有機質的存在可能使巴拉刈與粘土礦物邊緣的鍵結更為緊密。粘土礦物上的 pH 依賴性電荷主要是由高嶺石所貢獻，台灣地處高溫多雨、土壤偏酸富含高嶺石，實不適於大量使用巴拉刈。

表五、巴拉刈自供試土壤之永久性電荷與 pH 依賴性電荷位置上之脫附量

Table 5. Desorption of paraquat from permanent and pH-dependent charge on the soils used in the experiment.

Soil no.	Permanent			pH-dependent		
	Ads. ^(a)	Des. ^(b)	Des. (%)	Ads.	Des.	Des. (%)
	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	Ads.	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	Ads.
S13	2288	45	1.97	1743	841	48.25
S29	3350	62	1.85	1445	389	26.92
S11	4200	38	0.90	765	162	21.18
S5	2180	29	1.33	1383	678	49.02
G14	1820	25	1.37	2102	424	20.17
D9	2925	24	0.82	2123	54	2.54
B21	2075	26	1.25	2820	99	3.51
B11	1840	48	2.61	2061	1049	50.90
G6	2180	35	1.61	2636	187	7.09
D3	2010	100	4.98	2940	112	3.81
D7	2985	54	1.81	1965	112	5.70
G5	3006	78	2.59	1757	260	14.80

^(a) Ads.= the amount of adsorption;^(b) Des.= the amount of desorption.

引用文獻

1. 張愛華 1981。本省現行土壤測定方法。作物需肥診斷技術。台灣省農業試驗所編印。p.9~26。
2. 劉黔蘭 1982。台灣紅棕壤中雲母類礦物之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
3. Best, J. A., J. B. Weber and S. B. Weed. 1972. Competitive adsorption of diquat, paraquat and Ca on organic matter and exchange resins. Soil Sci. 114:444~450。
4. Burns, I. G., M. H. B. Hayes and M. Stacey. 1973. Spectroscopic studies on the mechanisms of adsorption of paraquat by humic acid and model compounds. Pestic. Sci. 4:201~209。
5. Calderbank, A. and P. Slade. 1976. Diquat and paraquat. In Herbicides (P. C. Kearney and D. D. Kaufman, eds.) p.501~504. Marcel Dekker, Inc. New York.
6. Faust, S. D. and A. Zarins. 1969. Interaction of diquat and paraquat with clay minerals and carbon in aqueous solutions. Residue Rev. 29:151~170。

7. Fey, M. V. and J. Lerous. 1977. Properties and quantitative estimation of poorly crystalline components in sesquioxidic soil clays. *Clays and Clay Minerals* 25:285 ~ 294 °
8. Gallez, A., A. S. R. Juo and A. J. Herbillon. 1976. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 40:601 ~ 607 °
9. Gamar, Y. and M. A. Mustafa. 1975. Adsorption and desorption of diquat and paraquat on arid-zone soils. *Soil Sci.* 119:290 ~ 295 °
10. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. in *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.) p.383 ~ 411. *Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wis.*
11. Hayes, M. H. B. and F. L. Himes. 1986. Nature and properties of humic mineral complexes. In *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes* (P. M. Huang and M. Schnitzer, eds.) p.103 ~ 158, *Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.*
12. Hayes, M. H. B., M. E. Pick and B. A. Toms. 1975. Interactions between clay minerals and bipyridylum herbicides. *Residue Rev.* 57:1 ~ 25 °
13. Jackson, M. L. 1985. *Soil chemical analysis.* Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs, N. J.
14. Juo, A. S. R. and O. O. Oginni. 1978. Adsorption and desorption of paraquat in acid tropical soils. *J. Environ. Qual.* 7:9 ~ 12 °
15. Kemper, W. D. 1960. Water and ion movement in thin films as influenced by the electrostatic charge and diffuse layer of cations associated with clay mineral surfaces. *Soil Sci. Soc. Proc.* 24:10 ~ 16 °
16. Khan, S. U. 1973. Interaction of bipyridylum herbicides with organoclay complex. *J. Soil Sci.* 24:244 ~ 247 °
17. Khan, S. U. 1974. Humic substances reactions involving bipyridylum herbicide in soil and aquatic environments. *Residue Rev.* 52:1 ~ 26 °
18. Narine, D. R. and R. D. Guy. 1982. Binding of diquat and paraquat to humic acid in aquatic environments. *Soil Sci.* 133:356 ~ 363 °
19. Weber, J. B. and D. C. Scott. 1966. Availability of a cationic herbicide adsorbed on clay minerals to cucumber seedlings. *Science* 152:1400 ~ 1402 °
20. Weber, J. B. and S. B. Weed. 1968. Adsorption and desorption of diquat, paraquat, and prometone by montmorillonitic and kaolinitic clay minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:485 ~ 487 °
21. Weber, J. B., R. C. Meek and S. B. Weed. 1969. The effect of cation exchange capacity on the retention of diquat and paraquat by three-layer-type clay minerals: II. Plant availability of paraquat. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:382 ~ 385 °