

## 台灣中部中海拔一極育土中鐵瘤之微形態學

蔣先覺<sup>1,3)</sup> 陳尊賢<sup>2)</sup> 許正一<sup>2)</sup>

### 摘要

透過偏光顯微鏡觀察土壤薄切片，可獲知許多土壤化育作用的證據，因此本研究選擇台灣中部一中海拔森林之極育土剖面，以微組構分析粘粒的移動及土壤中鐵瘤的微形態特徵。結果發現，強烈的粘粒洗入作用，使質地粘重的粘聚層土壤，在偏光顯微鏡下表現了明顯的條痕化雙折射組構，這些雙折射組構隨著鐵瘤的增加，而趨於圍繞在鐵瘤四周。粘粒髓質的走向，直接與水分的流動方向有關，而鐵在土壤中的分隔作用，除了受洗出、洗入作用及水分流動的影響，並形成鐵膜外，尚因氧化還原交替作用而明顯聚積在鐵瘤中。

關鍵詞：薄切片、微形態特徵、鐵瘤、粘聚層。

蔣先覺、陳尊賢、許正一。1997。台灣中部中海拔一極育土中鐵瘤之微形態學。台灣林業科學 12(4) : 413-420。

## Micromorphology of Iron Nodules in a Montane Ultisol of Central Taiwan

Hsien-Chueh Chiang,<sup>1,3)</sup> Zueng-Sang Chen<sup>2)</sup> and Zeng-Yei Hseu<sup>2)</sup>

### [ Summary ]

Many evidences of genetic processes in soils could be found by viewing soil thin sections with polarized microscope. An Ultisol profile was collected from montane forest of central Taiwan to study their microfabrics associated with the movement of clay and the micromorphological characteristics of iron nodule. The observation of polarized microscopy, the thin sections of soil samples with fine texture in all argillic horizons indicate significantly striated b-fabrics attributed to strongly illuviation of clay. These b-fabrics tend to show grano-striations when iron nodule increased in the matrix. The orientation of clay plasma is directly related to water flow. Iron segregations in the soil pedon are not only influenced by eluviation, illuviation, and water flow to form ferrans, but also influenced by alternative oxidation and reduction cycles to form iron nodules.

**Key words:** thin section, micromorphological characteristic, iron nodule, argillic horizon.

1) 台灣省林業試驗所育林系，台北市南海路 53 號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 國立台灣大學農業化學研究所，台北市羅斯福路四段 1 號 Graduate Institute of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, 1 Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

3) 通訊作者 Correspondence author

1997 年 4 月送審 1997 年 5 月通過 Received April 1997, Accepted May 1997.

Chiang, H. C., Z. S. Chen, and Z. Y. Hseu. 1997. Micromorphology of iron nodules in a montane Ultisol in central Taiwan. *Taiwan J. For. Sci.* 12(4): 413-420.

### 緒言

鐵瘤乃土壤中的鐵經由氧化還原交替作用而濃縮膠結形成的不規則型硬塊 (陳尊賢和張仲民, 1984; 蔣先覺等, 1996; Sherman and Kanehiro, 1954; Cescas *et al.*, 1970)。視土壤孔隙的形狀及化育環境的不同, 鐵錳結核會有不同的形狀產生, 如球狀鐵錳結核常發生在土壤粒徑均勻的大孔洞中 (Winter, 1938; Sherman and Kanehiro, 1954; Brewer and Sleeman, 1964); 管狀鐵錳結核常發生在植根腐爛分解後所留下的根孔中 (Zaayah and Bisdom, 1983; Silva and Ojea, 1991; Gaiffe and Kubler, 1993); 片狀及不規則狀鐵錳結核則廣泛地存在各種土壤中 (Ojanuga and Lee, 1973; Schwertmann and Fanning, 1976; Childs *et al.*, 1990; Sanz *et al.*, 1996)。

Winter (1938) 指出在美國伊利諾州之淋澀化土壤中所發現的鐵錳結核具有磁性, 同時以排水較差之表土含量居多, 化學組成份中尤以鐵、錳含量遠高於土壤基體, 而鋁、矽及有機物雖高於基體, 但不明顯。Sherman and Kanehiro (1954) 在夏威夷紅土中所發現的鐵錳結核具有球狀、角塊狀及不規則狀, 全量分析發現鐵氧化物含量至少在 20% 以上, 高則可達 81% 左右, 而錳氧化物則沒有明顯高於基體的現象。鐵錳結核中的礦物組成除了 2:1 型粘土礦物、高嶺石類及石英外 (Daugherty and Arnold, 1982; Muller and Bocquier, 1986; Silva and Ojea, 1991), 鐵氧化物以針鐵礦居多, 若脫水程度較高則會有赤鐵礦出現 (Gallaher *et al.*, 1973; King *et al.*, 1990), 錳氧化物則以水鈉錳礦 (birnessite) 及 鋰硬錳礦 (lithiophorite) 較常出現 (Golden *et al.*, 1988; Sanz *et al.*, 1996)。許多學者研究指出, 鐵氧化物起初在土壤大孔隙 (macropores) 中以孔洞襯裡 (pore linings) 的方式逐漸澱積, 最後亦將周圍土壤物質膠結而形

成鐵瘤 (Winter, 1938; Cescas *et al.*, 1970; White and Dixon, 1996)。Sullivan and Koppi (1992) 曾以微形態學及微量分析技術探討澳洲之膨脹土 (Vertisols) 中錳氧化物的形態特徵, 結果發現, 錳氧化物會聚積在根孔、斷面擦痕及土塊表面上而形成錳膜 (mangans), 或包覆在砂粒表面而形成瘤。Cescas *et al.* (1970) 曾利用電子顯微鏡觀察鐵瘤表面之孔隙, 而 Eswaran and Mohan (1973) 亦曾以電子顯微鏡探討結瘤表面高嶺石的結晶型態。Ransom *et al.* (1987) 以偏光顯微鏡觀察土壤薄切片時發現, 鐵瘤的周遭被干擾色 (interference colors) 微弱的土壤髓質所包圍, 這些土壤髓質乃因鐵被移出及粘粒被分散, 致使光學各向異性 (optical anisotropy) 減弱, 此一微形態特徵充分表現鐵瘤的形成環境中鐵的分離作用。Brewer and Sleeman (1964) 亦曾以微形態特徵解釋鐵瘤的生成過程。

蔣先覺等人 (1996) 研究台灣中部森林土壤中之鐵瘤時所得之結論是, 鐵瘤粒徑及含量隨深度而遞增, 其游離鐵含量高於基體甚多。該研究並認為鐵瘤的生成乃腐石在原處風化後, 所釋出之鐵離子經乾濕交替作用後, 再次膠結而形成鐵瘤。雖然蔣先覺等人已報導台灣中部森林土壤中鐵瘤的化學性質與生成模式, 但仍有必要對鐵瘤的微形態特徵做進一步探討, 該土壤樣體之特性請參考蔣先覺等人 (1996) 之報告, 今將利用此一土壤樣體之鐵瘤, 以偏光顯微鏡觀察土壤薄切片, 藉由微形態特徵的描述, 以了解台灣中海拔森林土壤中鐵瘤之微形態特徵與其相關化育作用之證據。

### 材料與方法

本研究區域位於台灣省林業試驗所蓮花池分所所屬之中山地區, 其經緯度約為 23° 53'N, 121° 02'E, 海拔為 650 m, 坡度為 15%, 植生主要為烏心石 (*Michelia formosana*)、狗骨

仔 (*Diplopora viridifora*) 及大頭茶 (*Gradonia anomala*) 等闊葉樹種，另有芒屬 (*Miscanthus* spp.) 等草類。母質為第三紀砂頁岩，年雨量約為 2,210 mm 且集中在五至九月。土壤水份境況為濕潤的 (udic)，土壤溫度境況則為熱的 (thermic)。挖掘一土壤剖面後，按美國農部出版之土壤調查手冊將土壤剖面加以分層、記錄其形態特徵並採取土樣 (Soil Survey Staff, 1993)，同時製備土壤薄片 (soil thin section) 進行微形態特徵之描述，其製作過程描述如下：

在土壤剖面中將鋁製金屬盒打入含鐵瘤的化育層中，取得未受攪動之定向土塊，覆上蓋子，並以膠帶封住，攜回實驗室加以風乾。之後將土樣送至美國奧勒崗州 Spectrum Petrographics 公司製成長、寬各約 5 及 7 cm，厚度約 30  $\mu$ m 之薄片，其製程主要分為灌膠、打薄、刨光。用偏光顯微鏡 (Type 104, Nikon) 以平面偏光及正交偏光的條件下，觀察並描述薄片。微形態特徵之專有名詞以 Bullock 等人所著之有關土壤薄片描述手冊為主 (Bullock *et al.*, 1985)。

## 結果與討論

### 一、土壤微組構分析

從野外所記錄的形態特徵來看，整個剖面的土壤構造極為發達，即普遍皆為中度發育的團粒構造或銳角塊狀構造，同時愈下層的土壤其顏色愈紅，(Table 1)。土壤的質地粘重，除 A 與 BA 層為粉質粘壤土外，其餘均為粉質粘土，且所有粘聚層 (Bt) 的粘粒含量均超過 40%，因此以正交偏光的條件在偏光顯微鏡下所觀察到的粗細顆粒相對分佈 (coarse/fine related distribution) 均為斑晶型的 (porphyric)，即砂粒等粗的礦物粒子幾乎被粉粒及粘粒所包埋住，尤其在具有鐵瘤的 Bt2、Bt3 及 Bt4 層中，因為土壤孔隙被大量粉粒及粘粒所填滿，更形成了密閉斑晶型的粗細顆粒相對分佈 (Table 2)。

所謂雙折射性 (birefringence) 是指偏極光穿過土壤薄片時因為結晶性物質的存在而使光線前進時產生折射，當折射光再經過與第一個偏極器互為垂直的分析器時，再度產生折射，這種經兩次折射所產生的顏色稱為干擾色 (interference colors)。因此，在偏光顯微鏡載物台的上、下方分別置入偏極器及分析器時的正交偏光條件下，所觀察到的土壤組構，稱為雙折射組構 (birefringent fabric)，構成土壤雙折射組構的主要髓質 (plasma) 乃粉粒及粘粒，特別是粘粒經洗出、洗入作用後，因片狀矽酸鹽的定位排列性 (oriented arrangement) 而使土壤髓質產生條痕化 (striation) 的現象。粘粒的定位排列與條痕化是土壤微形態特徵中極為重要的化育作用證據，定位排列的粘粒主要源自洗入作用，因此洗入作用愈明顯則定位粘粒膜愈多；而條痕化則代表這些可移動的髓質在土壤中移動的方向與空間，本研究所有 Bt 層的雙折射組構條痕化非常明顯 (Table 2)，Bt1 層主要為網狀條痕化 (reticulate-striated) 的形狀，而土壤孔隙周圍富含定位排列的準粘粒膜 (clay hypo-coatings) (Fig. 1a)，在正交偏光下也有少量孔隙條痕化 (porostriated) 的組構 (Fig. 1b)。因為洗入型的定位粘粒乃多半分佈於土壤孔隙及其周遭，致使 Bt2 及 Bt3 層的雙折射組構為孔隙條痕化的，而隨著鐵瘤在土壤剖面中的向下遞增，環繞在這些鐵瘤周圍的髓質亦呈顆粒型的條痕化 (granostriated)。土壤中的粘粒因洗入作用而被移至下層土壤時，常會同時挾帶溶解態的鐵，因此在洗入層中沿著根孔可發現沉澱的氧化鐵所形成的鐵膜 (ferrans) (Fig. 2a)。錳的溶解度比鐵高，因此在更下方之洗入層中的土壤孔隙中，尚可發現鐵及錳氧化物混合的鐵錳膜 (ferri-mangans) (Fig. 2b)。本研究區域由於氣溫及年雨量均較高，不但使土壤化學風化作用加速進行，同時粘粒的洗入作用也非常明顯，除了可構成各種條痕化的雙折射組構外，在鐵瘤裂縫中甚至因劇烈的洗入作用而產生定位排列良好的粘粒膜 (Figs. 3a, 3b)。

**Table 1. Morphological characteristics of the study soil**

Horizon	Depth(cm)	Munsell color		Texture <sup>1)</sup>	Structure <sup>2)</sup>	Boundary <sup>3)</sup>
		Matrix	Mottle			
A	0-8	10YR 5/6		SiCL	2vf&fgr	g
BA	8-25	7.5YR 5/8		SiCL	2fgr	g
Bt1	25-48	7.5YR 5/8		SiC	2fabk	d
Bt2	48-76	5YR 5/8		SiC	2fabk	d
Bt3	76-96	2.5YR 5/8	2.5YR 4/8	SiC	2fabk	d
Bt4	96-148	2.5YR 5/6	2.5YR 4/6	SiC	2mabk	d

<sup>1)</sup>SiCL = silty clay loam, SiC = silty clay;

<sup>2)</sup>2 = moderate; vf = very fine, f = fine, m = medium; gr = granular, abk = angular blocky;

<sup>3)</sup>g = gradual, d = diffuse.

**Table 2. Fabric analysis of selected thin sections of the study soil**

Horizon	Depth(cm)	The b-fabric		The c/f related distribution <sup>1)</sup>
		Primary	Secondary	
Bt1	25-48	Reticulate-striated	Porostraited	Open and close porphyric
Bt2	48-76	Porostraited	Granostraited	Close porphyric
Bt3	76-96	Porostraited	Granostraited	Close porphyric
Bt4	96-148	Granostraited	Porostraited	Close porphyric

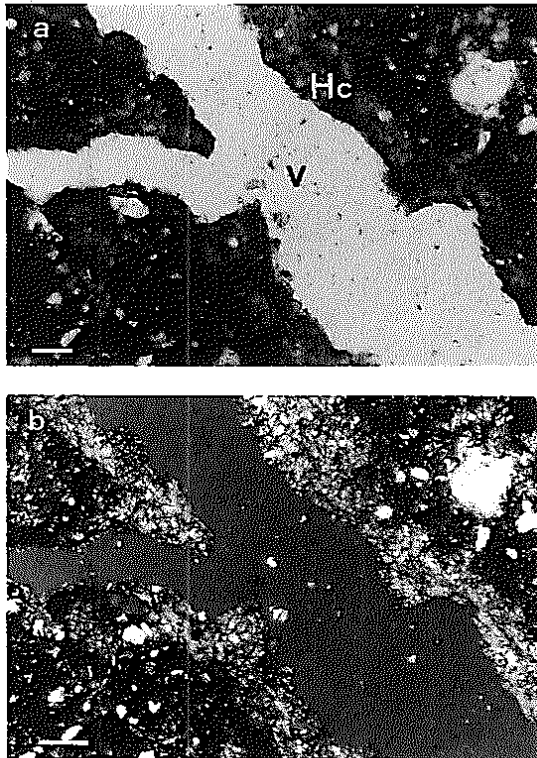
<sup>1)</sup>c/f: coarse/fine.

## 二、鐵瘤的微形態特徵

以肉眼在野外觀察土壤剖面時，發現鐵瘤分佈在 Bt2、Bt3 及 Bt4 層，且隨深度而增加，蔣先覺等人 (1996) 指出此一土壤剖面 Bt2 層的鐵瘤約佔整個化育層截面積的 2%，Bt3 層的鐵瘤約佔整個化育層截面積的 10%，而 Bt4 層的鐵瘤約佔整個化育層截面積的 20%。所有的鐵瘤經微形態特徵的觀察可發現多數為橢圓狀、圓狀或片狀的，少數呈不規則狀。但在 Bt1 層的薄切片中，可發現粒徑小於 1.0 mm 的鐵瘤 (Fig. 4)，其數量卻不到整個薄切片面積的 1%，因此透過微形態特徵的觀察可進一步發現鐵瘤在 Bt1 層中仍有存在，但因其量少且粒徑小而不宜在野外發現。由於鐵瘤乃次生型的氧化鐵膠結物，當土壤因乾濕交替作用而引起鐵的溶解移動時，會因氧化而沉澱在大孔隙或砂粒表面，繼而不斷的受氧化還原作用而變成鐵

瘤 (White and Dixon, 1996)，因此鐵瘤部分的粗顆粒礦物粒子會明顯的高於基體部分 (Fig. 5)，故 Stolt *et al.* (1994) 從粒徑分析發現鐵瘤的粘粒含量會比含氧化鐵較少的灰斑低。

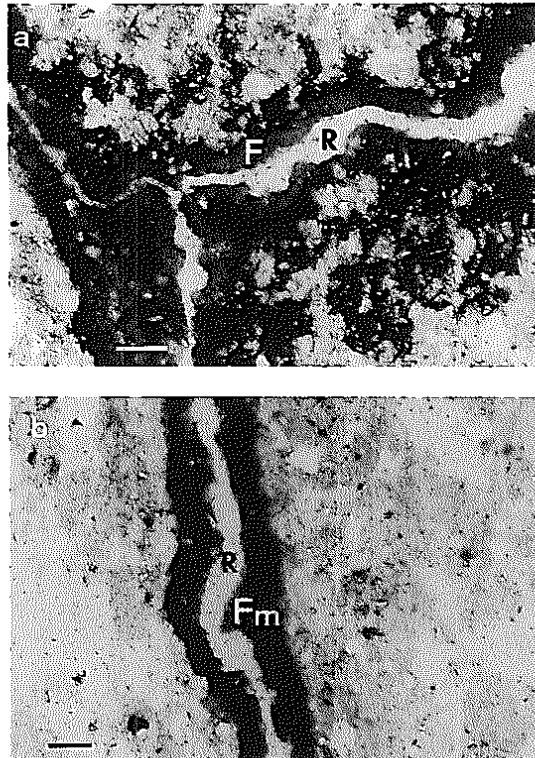
所謂鐵的分隔作用 (segregation) 乃指鐵在土壤化育作用過程中重新分佈在不同的深度或區域，而以本研究而言，土壤某一化育層內的鐵經分隔作用後都集中在鐵瘤，但粘粒則呈光學各向異性 (optically anisotropic) 地環繞在鐵瘤四周而使基體表現顆粒型的條痕化組構 (Table 2)，這意味著鐵離子乃單獨往鐵瘤核心移動而不會同時引起粘粒在鐵瘤的聚積，而土壤基體部分因鐵膠結狀態的改變，使粘粒的分佈走向與土壤水分移動的方向有關，例如 Bt3 層中鐵瘤周圍的洗入型定位粘粒在微形態照片中呈右上、左下的走向，即可顯示水分的移動方向 (Fig. 6)。粒徑較大的鐵瘤內部往往會產生一些裂縫 (cracks)，這些裂縫的孔



**Fig. 1. Soil thin sections. (a) Clay hypo-coatings (Hc) with orientation along voids (V) in Bt1 horizon, plane-polarized light (PPL); (b) as (a) with in cross-polarized light (XPL), Clay plasma shown as porostriated along voids. Scales of bars are 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .**

壁上有連續性稍差，但光學各向異性卻極強的定位排列粘粒膜，表示洗入的粘粒及鐵進入裂縫時，只有鐵受到兩側鐵瘤的吸引，而留下粘粒附著在孔壁上 (Fig. 3b)。

最下方的 Bt4 化育層中，其鐵瘤粒徑為剖面中最大的，少數可達 20 mm 以上，這些巨大的鐵瘤透過偏光顯微鏡的觀察可以發現其間有許多直徑小於 0.5 mm 的裂縫，裂縫中則填充著小碎塊鐵瘤、粘粒膜及鐵膜，而裂縫兩側的鐵瘤中仍散佈著許多粗顆粒礦物粒子 (Fig. 7)。很顯然地，愈下層土壤中鐵的分隔作用愈為明顯，而這也是造成下層土壤鐵瘤較多的原因。蔣先覺等人 (1993) 曾指出此一土壤剖面中氧化鐵的主要型式為針鐵礦 (goethite) 與赤鐵



**Fig. 2. Soil thin sections (a) Ferrans (F) along root channels (R) in Bt2 horizon, PPL; (b) Ferri-mangans (Fm) along root channels (R) in Bt3 horizon, PPL. Scales of bars are 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .**

礦 (hematite)，而 Schwertmann (1993) 認為針鐵礦的色彩約 7.5YR 至 2.5Y 之間，而赤鐵礦則約 5YR 或更紅，因此頗符合土壤顏色上的表現 (Table 1)，亦即本研究中鐵瘤及所有參與分隔作用的氧化鐵主要為針鐵礦及赤鐵礦。

### 結論

以偏光顯微鏡觀察本研究供試土壤之微形態特徵時，可發現強烈的化學風化作用及粘粒洗入作用，造成土壤細粒物質分佈於基體中，因此粗細顆粒相對分佈均為斑晶型，而鐵瘤則被這些細粒物質環繞著。另外，由洗入型的粘粒在 Bt 層中所構成的雙折射組構非常明顯，這些可移動的土壤髓質因洗出、洗入作用及水分側流的影響而被拉長，以致於出現條痕化的現象。鐵在土壤中的分隔作用除了受洗出、洗入

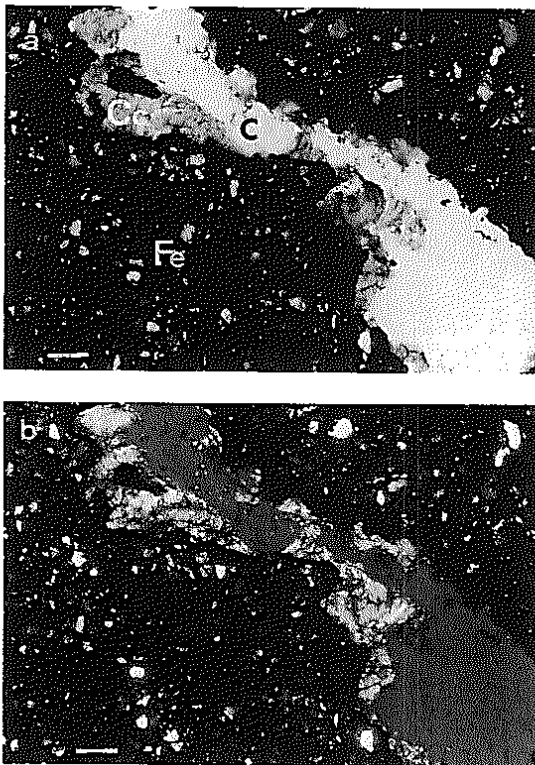


Fig. 3. Soil thin sections (a) Discontinuous typical clay coating (Cc) having well orientation along cracks (C) within Fe nodule (Fe) in Bt3 horizon, PPL; (b) as (a) but in XPL. Scales of bars are 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .

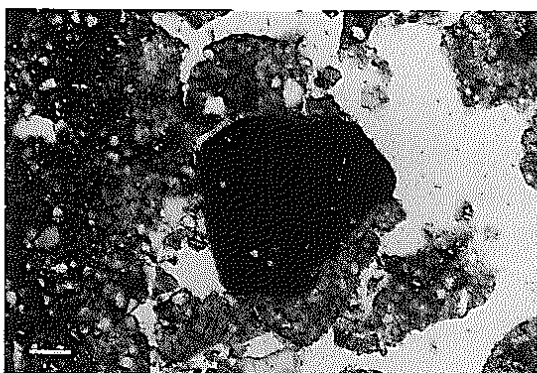


Fig. 4. Fe nodule in the Bt1 horizon, PPL. Scale of bar is 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .

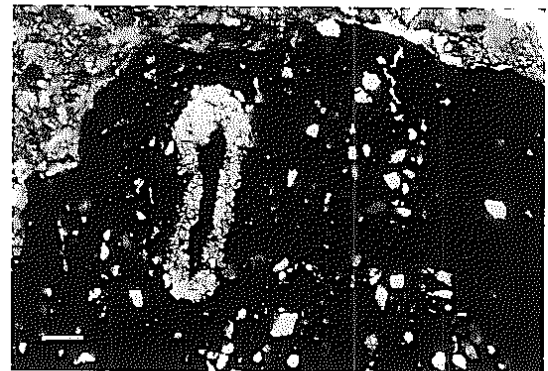


Fig. 5. White coarse mineral grains distributed within Fe nodule in Bt2 horizon, PPL. Scale of bar is 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .

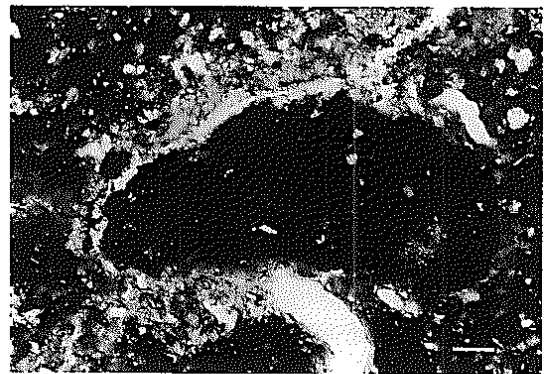


Fig. 6. Elliptic Fe nodule surrounded by illuvial clay with strong orientation in Bt3 horizon, PPL. Scale of bar is 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .

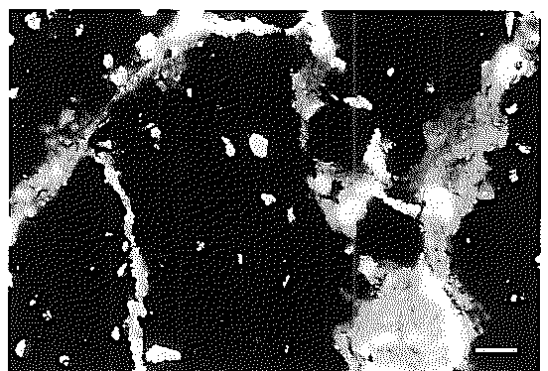


Fig. 7. Cracks within big Fe nodule infilled by small fragments of Fe concentrations and ferri-argillans, PPL. Scale of bar is 0.25 mm with magnification  $\times 40$ .

作用及水分流動的影響而形成鐵膜外，尚因氧化還原交替作用而明顯聚積在鐵瘤中。

#### 引用文獻

- 陳尊賢、張仲民。1984。台灣土壤中鐵錳結塊之形態、礦物組成及其生成模式之研究：(I) 桃園濱海地區水田土壤。台大農學院研究報告 24: 65-82。
- 蔣先覺、張家銘、洪富文、王明光。1993。蓮華池地區林地紅棕土壤中之氧化鐵。中國農業化學會誌 31: 793-802。
- 蔣先覺、許正一、陳尊賢、胡弘道。1996。台灣中部一極育土中鐵瘤的生成。台灣林業科學 11: 385-391。
- Brewer, R., and J. R. Sleeman.** 1964. Glaebules: Their definition, classification and interpretation. *J. Soil Sci.* 15: 66-80.
- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerijs, G. Stoops, and T. Tursina.** 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K., 152 pp.
- Cescas, M. P., E. H. Tyner, and R. S. Harmer.** 1970. Ferromanganiferous soil concretions: A scanning electron microscope study of their micropore structures. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 641-644.
- Childs, C. W., R. W. P. Palmer, and C. W. Ross.** 1990. Thick iron oxide pans in soils of Taranaki, New Zealand. *Aust J. Soil Res.* 28: 245-257.
- Daugherty, L. A., and R. W. Arnold.** 1982. Mineralogy and iron characterization of plinthitic soils on alluvial landforms in Venezuela. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1244-1252.
- Eswaran, H., and B. Mohan.** 1973. The microfabric of petroplinthite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 79-82.
- Gallaher, R. N., H. F. Perkins, K. H. Tan, and D. Radcliffe.** 1973. Soil concretions: II. Mineralogical analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 469-472.
- Gaiffe, M., and B. Kubler.** 1992. Relationships between mineral composition and relative ages of iron nodules in Jurassic soil sequences. *Geoderma* 52: 343-350.
- Golden, D. C., C. C. Chen, J. B. Dixon, and Y. Tokashiki.** 1988. Pseudomorphic replacement of manganese oxides by iron oxide minerals. *Geoderma* 42: 199-211.
- King, H. B., J. K. Torrance, L. H. Bowen, and C. Wang.** 1990. Iron concretions in a Typic Dystrochrept in Taiwan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 462-468.
- Muller, J. P., and G. Bocquier.** 1986. Dissolution of kaolinites and accumulation of iron oxides in lateritic-ferruginous nodules: Mineralogical and microstructural transformations. *Geoderma* 37: 113-136.
- Ojanuga, A. G., and G. B. Lee.** 1973. Characteristics, distribution, and genesis of nodules and concretions in soils of the southwestern upland of Nigeria. *Soil Sci.* 116: 282-291.
- Ransom, M. D., N. E. Smeck, and J. M. Bigham.** 1987. Micromorphology of seasonally wet soils on the Illinoian till plain, U.S.A. *Geoderma* 40: 83-99.
- Sanz, A., M. T. Garcia-Gonzalez, C. Vizcayno, and R. Rodriguez.** 1996. Iron-manganese nodules in a semi-arid environment. *Aust. J. Soil Res.* 34: 623-634.
- Schwertmann, U., and D. S. Fanning.** 1976. Iron-manganese concretions in hydrosequences of soils in loess in Bavaria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 731-738.
- Schwertmann, U.** 1993. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. Pages 51-69 in Bigham, J. M., and E. J. Ciolkosz eds. *Soil color*. SSSA Special

- Publication Number 31. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin
- Sherman, G. D., and Y. Kanehiro.** 1954. Origin and development of ferruginous concretions in Hawaiian latosols. *Soil Sci.* 77: 1-8.
- Silva, M. T. B., and F. G. Ojea.** 1991. Iron oxide accumulations in tertiary sediments of the Roupar basin, Galicia, NW Spain. *Catena* 18:31-43.
- Soil Survey Staff.** 1993. Soil survey manual: examination and description of soils. USDA-SCS Agric. Handb. 18. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC. p. 59-196.
- Stolt, M. H., C. M. Ogg, and J. C. Baker.** 1994. Strongly contrasting redoximorphic patterns in Virginia valley and ridge paleosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 477-484.
- Sullivan, L. A., and A. J. Koppi.** 1992. Manganese oxide accumulations associated with some soil structural pores. I. Morphology, composition and genesis. *Aust. J. Soil Res.* 30: 409-427.
- White, G. N., and J. B. Dixon.** 1996. Iron and manganese distribution in nodules from a young Texas Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1254-1262.
- Winter, E.** 1938. Ferromanganiferous concretions from some podzolic soils. *Soil Sci.* 46: 33-40.
- Zauyah, S., and E. B. A. Bisdom.** 1983. SEM-EDXRA investigation of tubular features and iron nodules in lateritic soils from Malaysia. *Geoderma* 30: 219-232.