

土壤生成和發育的新觀念*

B. B. 波萊諾夫著

作者在以前的論文裏，重覆敘述過杜庫柴也夫對於土壤學的教言，當時並沒有獲得應有的重視。當然，這門新的自然科學，還在繼續發展。蘇聯現在不但對它已有認識，而且重視到它進一步的發展，和應用到農業上去，蘇聯土壤專家和其他科學家正在從事於一系列有關理論土壤學的問題。他們強調土壤學的重要性，把它當作一個理論科學的規律，這規律可能關係到有關國家經濟和社會改造的科學和問題。這些新觀念是本文要敘述的主旨。

照杜庫柴也夫的指示，土壤是生物體和母岩交互作用的產物，即具有生命和無生命之間的性質。現在，我們認為土壤不僅是生物體和母岩交互作用的產物，它本身就是交互作用的體系。它是不休止的交互作用的中間產物。萬一這種交互作用停止，就沒有土壤，但是這現象一旦發生，最原始的生物體如苔蘚之類立刻寄生，土壤亦即開始。

首先我們必需解答的問題是：生物體和岩石的交互作用包括些什麼？

很明白的，不管是無足輕重的微生物，或是巨大的樹，每個生物體都永續不斷的和週圍物質進行交換，一方面不斷的從四週吸收物質，一方面又在拋棄物質。這作用是一種生活的徵象。十九世紀初葉法國動物學家居維葉氏(Cuvier)把這種生物體比作“循環”，當時祇當作一個比喻。到本世紀的20年代，杜庫柴也夫的學生威那斯克(V. I. Vernadsky)才明白這些循環的偉大規律。他探究生物體所吸收物質的成分。在威那斯克的實驗室裏，搜集並分析了很多物質，證明所有極少的化學元素是沒有被生物體所吸收的。事實上，廣泛分佈在生物體的元素至少有60種。一件特殊重要的事實是：生物體吸收的主要元素中，僅一部分是岩石的組成物質。換言之，生長在岩石裏的生物體可以吸收一切需要的主要元素。當然，這事實本身並沒有指明生物體的活動在四週環境裏起了多大的影響。

* 原文載蘇聯“Pochvovdenie” 1948. 3—13 頁，本文係轉譯自英文“土壤與肥料” 1951. 14: 95—101頁 原作者為 Polynov.

當諸元素通過生物體組織的時候，會發生什麼現象呢？也許，它跟以後的過程是沒有什麼區別的，但是並不如此，這可用下面的圖解來說明一個簡單抽象的例子。

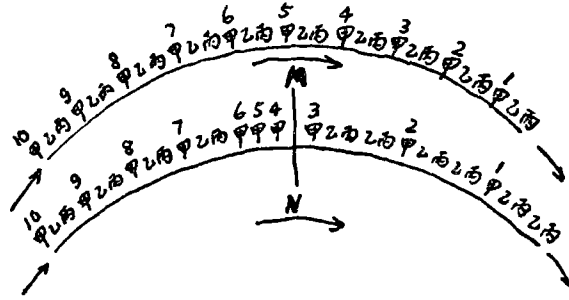


圖 1

假設有 3 個物體甲乙丙如圖 1 所示，永續地向一定方向移動，他們的數量相等。當他們向右移動時碰到一層滲透膜 M，這膜很小，同一時間只能通過一個物體；而且還有一個特性，是部分回轉甲物體，所以甲物體不是每 3 次通過 1 次，而是每隔 5 次通過 1 次。很顯然的，此時滲透膜兩端的組成便不同了。且時間愈久，差異愈大。圖 1 的下面部份表示六組甲乙丙物體通過滲透膜以後的兩端組成情況。甲物體不會完全和乙丙分開，因滲透膜始終要讓甲物體通過的。

這滲透膜代表着生物體，也就是有生命的物體羣落。這種物體和整個地壳相比是不足稱道的，但數百萬年永續着的進行這種作用，影響是很大的，因為有生命的物體或個別生物體能吸收的元素，在數量上並不和媒體成比例的。如同滲透膜一般，有生命的物體具有選擇和保留的性能，因此所有元素可以分門別類，有不同程度的取捨。很明白的，即使通過生物體而保存着的物質的化學組成相同，在數量上會完全不一樣的，但質和量是溶貫一體的，從各元素組合成的各種化合物可以看出來。水和過氧化氫便是一個例子。

要認識這種強烈的作用，可用下列事實來說明：在 12 年內通過生物體的碳素比較地壳所含碳素的總量大 10 倍，這就是說，假使碳素具有相同的流動量，同一碳素粒子在 12 年內可以通過生物體 10 次，這種作用不止已經進行了萬年以上而是非常複雜的。這時候有多量的碳素被滲透膜阻擋，被拒絕在這些循環之外，如同圖 1 下面部份的甲物體一般集聚了起來，生成煤炭，泥炭，油類和石灰岩。因為石灰岩中保留了大量的鈣質，其他岩石含鈣素便很低。這時候因生物體排斥的結果，大氣

裏積聚很多游離態氧，湖海裏形成了可溶性的鹽類。而且要感激生物體的活動，這時候地球上整個生物界都改變了。這作用是生物界的全體生物所引起的，但是土壤是生命匯集之所，也是巨大的地質作用最集中之處。

由此我們可得一結論：在土壤中進行的諸種作用對週圍自然界具有深奧的影響。舉一個例子。一件最令人注意的地質作用，是物質由陸地入海洋的移動作用，這是河川所引起的。被水移動的物質，愈細愈輕便，入海也愈迅速。當然最細微的是水溶性物質，但入海途中，並未沈積，只有探究海洋的成份和海底的沈積物。

假使我們問：流入海洋的物質中，什麼元素的數量最多呢？這必需根據各元素化合物的溶解度來決定。拿普通的鉀、鈉、鈣和鎂四種元素比較，根據各化合物已知理化性質來判斷，其移動量由大而小可以排列如表 1：

表 1

理論上移動順序	費斯孟改正移動順序	實在移動順序
鉀——(0.36) (0.71)	鈉	鈣
鈉——(0.45) (1.00)	鉀	鈉
鈣——(1.75) (1.90)	鈣	鎂
鎂——(2.10) (2.60)	鎂	鉀

第一欄括號內的數值，表示諸元素的溶解度。前者由費斯孟 (A. F. Fersman) 測定，後者表示古特斯密特 (V. Goldschmidt) 的離子電位。兩者由鉀到鎂都是逐漸增加，證明這順序沒有錯。

但這順序在許多方面和實在情況差異很大。地殼所含鉀和鈉事實上幾乎是相等的，如鉀化物和鈉化物流入海的速度相同，那麼在海水中，鉀量便會超過鈉量，至少兩者無大差異。但事實上，無論在海洋或在河流中鉀量都比鈉量少的很多。所以，費斯孟先照理論把鉀放在第一位，後來又修改原來的順序如第二欄所示。

經過作者進一步的實物探究，結果如第三欄所示，全部順序都要變換。這該怎樣解釋呢？鈣一般認為比鉀和鈉還難溶解的，為什麼確占移動順序的第一位呢？

要了解這問題，我們必需知道河水組成是怎樣決定的。不管河水的來源是來自溪水或來自地下水，這些水都必滲過土壤，也就是生物體密集的场所。就是說，水並非僅僅溶解當地岩石的礦物，同時還接受生命循環中所得接受的物質和循環中造成的物質。這產生一系列極複雜的作用，因為元素的吸收和保留不僅受生物體的影響，同時也受土壤膠體的影響，土壤膠體的生成直接或間接對生物體活動相關

聯。總之, 河流中礦物質的供給直接依賴於土壤生成和發育作用, 鈣質的高度移動量就是這種作用決定的。

這個理論不僅對上述四元素適用, 其他普通元素流動量的順序, 如表 2 所示, 都有一致的情況。

表 2

元素移動等級	移動順序	移動體積指數
1. 極速移動	氯 (鎳, 碘) 硫。	$2n \cdot 10$
2. 迅速移動	鈣, 鈉, 鎂, 鉀	n
3. 流動	氧化矽, (矽酸鹽), 磷, 錳。	$n \cdot 10^{-1}$
4. 遲鈍 (微度) 流動	鐵, 鋁, 鈦	$n \cdot 10^{-2}$
5. 不流動	氧化矽 (石英)。	$n \cdot 10^{-\infty}$

上表將諸元素分作五類。如第三欄所示各類元素的流動量差異極為顯著。石英可認作不能流動的物質, 因其不受水和生物體的侵蝕。各類元素的移動量都依由大而小順序排列。各元素移動量表示由陸地原有化合物的元素狀態到入海成離子狀態時全部過程的平均流速。當然, 在不同地貌下, 各元素的移動程度和排列順序是稍有區別的。但是在各種典型地貌下各元素移動量的變化, 可以證實上列表 2 的分類方法。

不同地貌的地表, 可按其對於水之活動和溶液形成的關係, 基本上分作三種類別。

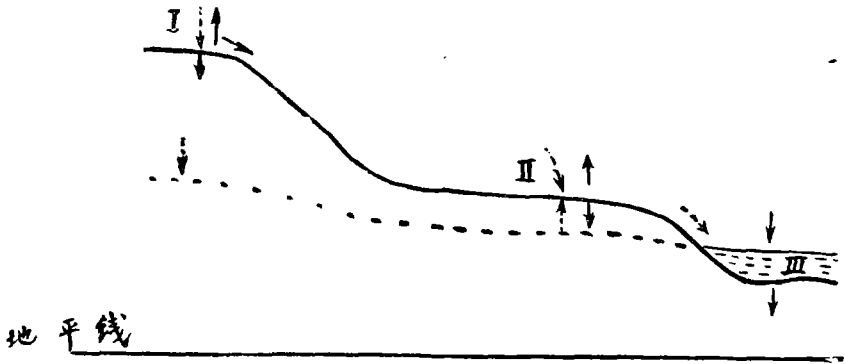


圖 2

假設一片平坦的地面, 位置在一個稍為孤立的高地上, 如圖 2 左邊所表示的分水嶺, 其地下水位很深, 顯然的, 這地區不能獲得別處所流失的液態或固態的元素, 僅能由天空降水中獲得水份和溶液。這些水分一部分蒸發掉, 一部份透入土

壤，再一部份沿地表流向低地。這屬於第一類地表，凡是在水中可以溶解或懸濁的物質，都會隨水流入土壤底層，有時流入地下水，或逕流入低地。土壤就是如此的不斷的繼續進行淋洗，但我們要認識土壤中還存在着能吸收部份溶解物質的生物體。因此就有一種相反的作用不斷地競爭；那是水帶走了可溶性物質，而植物又輪換地吸取他們回來。結果，由於生物體，尤其植物的吸收作用，土壤裏的元素不會完全淋失。此外，土表發生侵蝕作用，可使底部岩石層也參加了土壤的生成作用。這一類地表常與典型的溶提作用，或更確當些稱為土壤的半溶提作用（*translivial process*）結合一起的。

很多旱地表層可以用此類情況或類似此類的情況來代表，可是由另外幾類情況組合的。區域也是很廣大的。

假使一個低平地，地表很接近水位，如第二圖中II所示，在一定情況下（如中度雨量），上升水比下滲水要多。水份愈接近地表，蒸發量愈大，而溶解於水中的各種物質便會沈積下來。在這種情況下，從附近第一類地表携帶來的任何物質，都會從溶液中沈積和積聚起來。由某處帶走的物質，會在另一地又沈積起來。此類地表的土壤稱做水上土（*superaqual*）。

第三類包括一切水淹蓋着的地表。這裏的土壤我們稱做水下土（*subaqual*），包括各種水底形成的土壤。顯然的不僅所謂土壤帶（*soil zone*），甚至土壤區（*province*）都不能單純地用一種溶提型土壤來代表的。我們時常發覺在它們當中稍低的地方有類似水上土的形成。無論如何，第二圖所示的分佈剖面，可以適用於任何土帶或土區，在短距離內結合着三種不同的土壤。由這分佈剖面，清楚的看出那裏的溶提土是和水上土互相交往，甚至水下土也是互相關聯的。以往就有人稱水上土的關聯性做“生成社會”（*genetic association*）。然而那時，自然界許多變化並沒有從他們工作中獲得解釋，即已經進行的工作裏也沒有將有關的溶提土，和水上土生成作用聯繫起來。同時，這樣的關係完全是土壤帶或土壤區的地貌特徵。

例如在中亞細亞灰鈣土區裏許多不同的地貌，可以用這三種土壤變異所組合的剖面來說明。溶提土中生長着稀罕的旱生植物，僅在早春才能生長密集的短期生物。生物體和岩石的代換循環也很微弱。這些循環形成了很多碳酸鈣，大部就地沈積，或聚積於地面上或砂土上。在溶提土剖面中，也偶然見到石灰上升到地表。這表明了石灰的微弱移動，在高温地方，土壤和地下水中，石灰含量都不顯著。氯化物和硫酸鹽在溶提土剖面中很少發現，似乎移動極大，但在該處地下水中却成

飽和狀態。同時在溶提土連接處也可發現水上土，可用各種鹽漬土來代表，除鹽化作用使表土結成鹽結皮而外，一般都蓋覆着耐鹽植物。無處排水的水下土壤，成爲具有硫化氫氣味的黑泥，或有從飽和溶液中沈積出來的鹽分。由於古時地質狀，以及地下水和栽培處理所產生的地貌，表現出各種不同的鹽化作用和脫鹽作用。雨量缺乏而蒸發量大的地方，目前是形成氯化物及硫酸鹽的大陸沈積。這區域裏只有第二表中第一類元素才有顯著的移動。這些元素的移動在當地水裏，在土壤上，在植物上都遺留下一個明顯的痕跡，而且結合起這些地貌。互相關聯互爲因果。

走過一套過渡性的景觀，我們就到達黑鈣土草原地那裏構成另外一種關聯的典型土壤剖面。黑鈣土是這剖面的溶提部份。生長密集的草類。這連續的而不是暫時的植物生長是這區的特性，土壤中高度有機質含量證明強烈“循環”作用的進行，而無疑的，那些土壤中主要礦物元素的遺留是通過生物體組織的。草本植物灰分含量，和灰鈣土區耐旱植物一樣都含有高量的鈣質，但不同的是更含有多量的氧化矽，這說明該元素的移動逐漸增加。土壤剖面裏更證明碳酸鈣移動的逐漸增強，它們由表層淋失掉而積聚成石灰澱積層。此區域的氯化物和硫酸鹽幾乎完全流失，遺留物都積聚在大陸沈積物的底層，如蘇聯歐洲部份南方草原區的黃土可以看出。很一致地，那裏的土壤和硬水性的地下水都是不含鹼的，此處的水上土，以前稱做“碳酸鹽土”，最好稱爲“石灰性草畑土”。此土表層含碳酸鈣，生長各種草類植物，如鈣性植物亦時常見到。當地水道含着硬水，好水植物上的枝葉和苔蘚都蓋上一層碳酸鈣結皮，(眼子菜屬)。由這水所成的沈積物中有時富含淡水水泥灰石，其上生着明顯的特殊藻類。在這區域裏第一類強烈移動的元素已經帶走，其中鈣質是最重要的移動元素，它在水中，土壤及生物體裏遺留下痕跡。

同時，其他諸元素亦起顯著移動現象，即氧化矽亦如此，這在溶提土的植物中很明顯。

離開黑鈣土北部的過度地帶，那裏的地貌變異很大，土壤組合不能用一種分佈剖面來表示，下面說的不是全部區域的情況，僅僅是幾種地貌的特徵。溶提土發育在冰積壤土和砂土上，生長着松柏科植物，具有顯著的灰化作用，這種植物的灰分含量，遠較草原地草類爲低。性質上說，這灰分裏包括全部必需的元素，其中含量較高的氧化矽和鈣質逐年通過葉子和葉針降落土中。灰化作用結果，形成深度淋洗的土層，事實上，這土層裏除含有石英或類似石英一般穩定的氧化矽以外，就沒有什麼東西。這說明最後事實上不能流動的元素積聚起來了。土壤和風化外殼中

的第一類和第二類元素幾乎全部淋失，但遲鈍元素如鐵鉛氧化物是不大移動的，只停留於適當的深處，這樣就形成灰化作用的溶提層。冰積層的殘餘部份並不說明鐵鉛氧化物的流動。這種風化層的第一類和第二類元素大都流失，而含有較穩定的矽鋁化合物，在這一方面顯然和土壤剖面有區別的。

土壤水份大都是軟水，含礦物質極少，很容易將細小礦物粒子形成懸濁體狀態 (subtypes) 而流失。水上土層溶提土的副類，多半是藁屬草地，或藁屬和苔蘚交互分佈，起伏若小丘。池塘變成苔蘚澤地 (mossy bogs)。氧化矽為藁類的主要成分。偶然看到錳和鐵的移動現象，但是最明顯的鐵錳移動現象是在另一種的土壤類型裏，這兒，是一個軟水，植物灰分低和土壤有淋洗現象的區域裏。

沿着從列寧格勒到離樸克霍夫 (Porkhov) 不遠的北斯哥夫 (Pskov) 鐵道，我們可以看到頗有趣味的景色。在這鐵道的一邊，是一片廣闊的坡地，一部分生長橡樹，一部份是耕地。在每年適當時期耕地生長着稠密豐滿的穀類作物，表示這是一片所謂“油脂”般的土壤，低地是一片草原，生長著各種花草如紫雲英，並且流着碧綠的溪水。

在鐵路的另一邊，出現了完全不同的景色。那裏生長着深色的針葉林，並混雜着白樺和楊樹。林地附近有耕地，但其生產力，甚至穀粒品質顯然比較低劣。低地也有草原，但是沒有顯麗的花朵，祇密生着藁屬，裏面還有零星分佈的沼澤。這是什麼原因造成這種懸殊的差別呢？

這種地貌的右邊是在溶提情形下生成灰化土的冰積壤土和粘土區域。當然，此處植物雖然竭力吸收鈣質，仍然很難滿足它們的需要。在稀疏的穀類作物中，因缺乏石灰發生了明顯的生理病態。在低窪部份有草畑土或沼澤濕土。它的水分不僅碧清且為軟水，植物雖屬好水性，並不嚴格需要礦物元素——例如，藁類和苔蘚類植物主要吸取了第三類及第四類元素即矽質和鐵質。

這種地貌的左邊是完全不同的東西。這裏的母岩是石灰性冰磧石，不管當地氣候如何，鈣質很易流動，但鈣的供給足夠保證穀類作物的豐產，和造成適合櫟樹的環境，所以此地為櫟樹的生長區域，低地草原水份充足，適合花草生長，其中紫雲英和含鈣質很高的植物居於顯著的地位。

最後一個例子是阿特哈里亞 (Adzharia) 的黑海海濱。降水量 4 倍於莫斯科，夏季天氣炎熱，空中濕度大，如同暖房。較高地上密佈森林，其中有板栗，山毛櫸 (heeches) 和鵝耳櫪 (hernheams)，以及杜鵑和桂樹所構成的灌木層。耕地區有很

多茶園,也有些地方密生着鳳尾草。這裏散佈着各種花園,八仙花 (hydrangeas)不是白色或紅色,而是藍色或紫色的。在低地,水份可以滲透進來而淋洗了土壤,此處時常發現繁密的竹林。這些竹林不是當地生長的,可是這環境很適合他們,經過和野生品種的生長競爭,它們已取得了勝利。

紅壤 (Krasnozēm) 區域中,風化層已漸失去各種鹽基和氧化矽,而積聚起鐵鉛氧化物,在這微含礦物質的水中,氧化矽占全礦物成分約 40%,土壤中有很顯著的鐵鉛氧化物的移動現象。根據直接分析茶樹(一向認作最能吸收鉛質的)及稍能吸收或全不吸收鉛質的植物(山毛櫸、板栗,杜鵑和鵝耳櫪)的結果,說明植物不但強烈地吸取鐵質,甚至也吸取鉛質。同樣結果也在藍色八仙花上表現。如當地水份中含氧化矽很多,水上土中分佈有很廣的竹林。很早就有人知道,竹子有一個特性,它的灰分中含氧化矽特高。

由此,我們認識紅壤風化層的淋洗作用比上述冰積壤土還要深些。同時,土壤中雖然展開了一些鐵鉛氧化物的移動,但沒有或極少灰化作用的徵象。於是我們可以問:在這樣濕潤氣候和較長的成土作用下,土壤怎樣沒有達到如北方土壤帶一般的明顯徵象呢?

假設我們回想一下,土壤生成和發育中的每種溶提作用都包括兩種相反的力量,一方面由生物體將元素提取起來,另一方面是由土中移去。假設我們認識到繁茂的亞熱帶植物生長期很長,甚至不間斷的;假設我們再回想到這些植物能強烈地吸取鐵鉛氧化物,使長期保存在土層裏;那麼,我們就獲得了最較確實的解釋和答案。

上面已就一系列的典型地貌試加解釋。第一,說明土壤和各種地形上的元素的有機聯繫;第二說明土壤和植物的聯系,(這是,說明這些生成作用的起源,V. N. Sikechev 稱做陸生新生物——geolriocenoses);第三,聯系陸生新生物和排水及滲水的複合性,——這是依據着諸種元素移動的定律。

或許用同一方法來解釋各種的地貌會發生嚴重的錯誤,並且許多地貌,至今還未得到解釋,在這裏我們雖然已經討論過許多的地貌,可是還不够清楚,也不够廣泛的。(程伯容譯)