

# 关于我国土壤的风化带

西北农学院土壤农化系 尉庆丰

土壤的风化程度既受风化壳类型的影响,又有很多独特的方面。因此,对于风化壳类型及其地理分布的研究并不能代替土壤风化带的研究。

自然土壤的形成过程,是风化淋溶过程(即地质过程)和生物累积过程共同作用的结果。无论风化淋溶过程或生物累积过程都受生物气候条件的制约,因而随着生物气候带的演替,便都显示出各自的地带性。张效年、李庆逵先生在《华南土壤的粘土矿物组成》一文中阐明了华南土壤生成过程的风化带,并且指出:“热带红壤区及亚热带红壤区是代表生物气候性的风化带。砖红壤性红壤区是受了砖红壤母质的影响,这项砖红壤母质,是地质时期高度风化的产物,可能是第三代产生的。”

本文的目的是想从现有的研究资料中,探讨我国土壤生成过程中的生物气候性的风化带。

## 一、土壤的风化过程

土壤的风化过程即是矿物的分解和分解产物的淋溶过程,其强度可用硅酸盐矿物的分解和次生粘粒的生成强度,粘粒硅铝率(或硅铝铁率)的变化和粘土矿物的组成,以及粘粒迁移、盐类淋溶过程的强弱等来标志。

### 1. 硅酸盐矿物的分解、演变过程

土壤中硅酸盐矿物的分解、演变过程,一般是经历脱盐基作用,脱硅作用等而形成不同种类的次生粘土矿物。如以云母为例,则大体经历初期脱钾形成水云母,进一步脱钾之后形成蛭石及蒙脱石,再经脱硅作用形成高岭石,高岭石脱硅之后便成三水铝矿。随着风化程度的增高,矿物的成分和结构愈来愈简单,粘粒的硅铝率也愈来愈小。

硅酸盐矿物的分解和演变过程有着明显的地带性。如在热带和亚热带地区,由于强烈的化学风化和风化产物的剧烈淋失,便伴随着强烈的脱盐基和脱硅作用,因而形成了大量的高岭石和较多的三水铝矿、赤铁矿等次生粘土矿物。而在其它地区则因度温的降低,雨量的减少,化学风化的减弱,母质对粘土矿物组成的影响便相对增大。然而,随着生物气候带的演替,仍可看出粘土矿物组成的地带性特征:在新疆和内蒙古高原西部的荒漠和半荒漠地区,由于气候干燥,风蚀严重,云母类矿物处于初期脱钾阶段,以形成水云母为主,蒙脱石甚少。随着湿润程度的增高,至半干旱草原地区,蒙脱石迅速增

加,主要粘土矿物转变为蒙脱石——水云母类型。在暖温带湿润地区,蛭石有显著的增多,粘土矿物的组成以水云母——蛭石为主,说明环境有利于水云母进一步脱钾。

## 2. 粘化过程

关于次生粘粒的生成强度和迁移程度,可用隐粘化,残积粘化和粘化三个阶段来标志。所谓隐粘化,即是指土体中次生粘粒的生成强度尚不易被感官所察觉,只有通过机械分析才能发现土体粘粒含量的增多。在隐粘化阶段,由于雨水的淋洗作用,粘粒也可能发生迁移和聚积,但不形成明显的粘化层。隐粘化过程一般发生在温带草原土壤中,其水热条件是温度偏低,雨量较少,因而矿物的化学风化和次生粘粒的生成强度,以及粘粒的迁移程度均较低。

残积粘化,是指土体中已有明显的粘化层,但在粘化层中一般上部粘粒较多,下部较少,粘粒的迁移聚积作用尚不显著(表1)。残积粘化的发生条件是暖温带干旱森林和森林草原,其水热状况是温度较高而雨量偏少,因而次生粘粒的生成强度较大,但粘粒的淋溶聚积作用却很弱。

表 1

褐土与垆土的残积粘化现象

| 土 壤           | 土 层   | 深 度<br>(厘米) | <0.001毫米颗粒<br>(%) | 资 料 来 源  |
|---------------|-------|-------------|-------------------|----------|
| 褐 土<br>(山西沁源) |       | 0—5         | 7.1               | 引自《中国土壤》 |
|               |       | 5—17        | 14.3              |          |
|               |       | 17—50       | 28.9              |          |
|               |       | 50—84       | 26.9              |          |
|               |       | 84—130      | 8.1               |          |
|               |       | 130以下       | 11.0              |          |
| 垆 土<br>(陕西武功) | 耕 层   | 0—20        | 15.5              | 引自《垆土》   |
|               | 犁 底 层 | 20—35       | 15.0              |          |
|               | 古 耕 层 | 35—60       | 20.5              |          |
|               | 老粘化层  | 60—100      | 32.5              |          |
|               | 老粘化层  | 100—137     | 25.5              |          |
|               | 老 心 土 | 137以下       | 20.5              |          |

粘化的发生有两种情况:一是在暖温带棕壤地区和亚热带、热带的富铝化地区,因温度较高,雨量较多,化学风化和淋溶过程均较强烈,因而在残积粘化的基础上,又进

一步发生着粘粒的迁移和聚积，形成深厚的粘化层。另一种情况则是发生在寒温带针叶林、温带针阔叶混交林以及白浆土、黑土地区，在这些地区一般热量不足，但湿度较大，淋溶作用较强，粘化层的形成主要是粘粒的机械淋溶和有机——无机胶体的淀积所致。象这种粘化似应取名为“淋淀粘化”。

### 3. 元素的迁移和盐类的淋溶过程

元素的迁移强度可用水迁移系数\* 来表示。水迁移系数越大，则元素的迁移能力越强。在风化过程中，水迁移系数较大的氯和硫（成  $\text{SO}_4^{2-}$  形态）最易淋失，其次是钙、钠、镁，再次为钾、硅，最难移动的元素是铁、铝、钛等。

在热带及亚热带地区因化学风化和淋溶作用都很强烈，所以不仅钙、镁、钾的迁移率很大（约为 85—100%），而且硅的迁移率也达 40—70%。这样，在土体中铝和铁等这些最难移动的元素便相对地富集起来，构成了脱硅富铝化的特征。而在寒温带针叶林下，由于凋落物缺乏盐基，不足以中和凋落物分解所形成的有机酸，致使土壤溶液酸化。在这种酸性环境中，硅酸盐类矿物遭受破坏，铝和铁以络合物形式向下移动，二氧化硅便在土壤上层富集起来，从而构成了脱铁铝富硅的特征。

盐类的溶解度首先取决于它们的化学性质。例如，在水温相同的条件下，溶解一个单位的食盐只需 3 个单位的纯水，而溶解一个单位的石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）便需 1000 个单位的水。如要溶解一个单位的碳酸钙，那就需要 10000 个单位的水。另一方面，盐类的溶解度又受土壤条件如温度、水量和 PH 的影响，而这些条件均与生物气候带有关，因而盐类的溶解和淋溶也显现出一定的地带性。譬如在干旱的荒漠地区，残积盐化和石膏聚积相当普遍，而在半干旱的草原土地区，石膏的聚积则仅属局部深位（栗钙土），甚至无石膏聚积现象（黑钙土）。在这些地区，盐类的淋溶已进入钙、镁碳酸盐淋淀阶段，剖面中往往有钙积层出现。随着水热条件的进一步改善，至暖温带棕壤地区，土体中的碳酸盐也全被淋失，进入代换性盐基的淋洗阶段，致使土壤呈现盐基不饱和的状态。

## 二、风化壳的类型与土壤风化过程的关系

风化壳的类型是不同生物气候条件长期作用的历史产物，它的成土部分即为母质。母质的性质自然对成土过程具有深刻的影响。然而，由于风化壳类型的改变，通常落后于生物气候的变迁，故目前所见到的风化壳类型与现代的生物气候条件常是既相适应，又相矛盾的。例如，在我国热带和亚热带地区广泛分布的富铝化风化壳，一般认为是第三纪末期就开始形成，一直延续到现代，富铝化仍在进行。这是相适应的一面。而就黄土状碳酸盐风化壳的分布来看，既出现于温带草原黑钙土和干草原栗钙土地区，又出现于暖温带的褐土和黑垆土地区，甚至在荒漠草原灰钙土地区也有大量分布。这显然又是不相适应的表现。再从不饱和硅铝型风化壳来看，既存在于暖温带落叶阔叶林带，又存

\* 水迁移系数等于元素在水的矿质残渣中的含量与流出该水的岩石中的含量之比。

在于温带针阔叶混交林带以及寒温带针叶林带。这也清楚地表明,风化壳类型的改变远远落后于生物气候带的变迁。由此可见,风化壳的类型与土壤的风化度既有密切的联系,又有明显的区别,前者是古生物气候的遗迹,后者则受现代生物气候条件的控制。

### 三、我国土壤的风化带及其分布规律

根据土壤中次生粘土矿物的组成,粘化过程的强弱,元素迁移的特点以及盐类的淋溶程度等,可将我国土壤概分为以下 10 个生物气候性的风化带:

#### 1. 强度脱硅富铝化带

本地带包括热带砖红壤及亚热带赤红壤地区。这个地区的气候特点是高温多雨,在这种条件下原生矿物迅速分解,  $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  等几乎淋失殆尽,而  $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  也不超过 1%。同时  $\text{SiO}_2$  大量迁移,铁、铝氧化物明显富集。随着硅酸盐类矿物地迅速分解和脱盐基、脱硅作用地强烈进行,生成了大量的高岭石。部分高岭石更进一步脱硅而成三水铝矿。粘粒的硅铝率一般都低于 2, 粘土矿物的组成以高岭石为主。

#### 2. 中度脱硅富铝化带

其范围与中亚热带红、黄壤分布地区大体相符。土壤的风化度较上带为弱,母质中抗风化能力强的原生矿物,如正长石、钠质斜长石、角闪石等在土体中仍可见到。粘粒部分的硅铝率一般在 2.0~2.2 间,粘土矿物以高岭石——水云母为主。

此带的贵州高原地区,由于雾露多,日照少,湿度大,故富铝化作用较弱,粘粒的硅铝率大体在 2.2—2.5 间。在粘土矿物的组成中蛭石较多,次为高岭石和水云母。同时,由于铁的水化作用较强,游离氧化铁转变为针铁矿、褐铁矿和多水氧化铁,因而将土壤染成黄色。鉴于这个地区在风化过程中具有“水化——脱硅富铝化”的特征,似应当作为一个亚带来看待。

#### 3. 粘化——弱度脱硅富铝化带

此带是由亚热带向暖温带过渡的北亚热带地区,故土壤的风化过程兼有富铝化和粘化的特点,其粘化程度较高,而富铝化程度则较低,它的代表性土壤为黄棕壤。

在这个地区的土壤中,原生矿物的分解和次生粘粒的生成比较迅速,粘粒含量较高,而且粘粒的淋溶聚积非常活跃,常形成粘重的心土层,甚至出现粘盘。

粘土矿物的形成处于脱钾与初期脱硅阶段,粘粒的硅铝率一般为 2.5~3.0。在粘土矿物组成中,除水云母和蛭石较多外,高岭石也不少。

#### 4. 粘化带

此带处于暖温带湿润地区,纵跨辽东半岛与山东半岛,其代表性土壤为棕壤。

土体中粘粒含量较高,质地粘重,粘粒自表土层向心土层的迁移聚积作用甚为明显。

全剖面无石灰反应,已处于代换性盐基淋溶阶段,土壤呈现盐基不饱和状态。

粘粒的硅铝率一般在 3.0~3.7 间,其指示粘土矿物为水云母与蛭石,有时出现高岭。粘土矿物的形成基本上处于脱钾阶段,但有脱硅现象,只是不够明显。

### 5. 残积粘化——碳酸盐淋溶带

本带的生物气候条件属于暖温带干旱森林和森林草原，其代表性土壤是褐土。

土体中具有明显的粘化层，但粘粒自上而下的迁移并不显著，尚处于残积粘化阶段。粘粒的硅铝率大约为 3.3~3.7，指示粘土矿物为水云母与蛭石。粘土矿物的形成尚停留在脱钾阶段，其剖面上部一般蛭石较多，而粘粒中的钾含量却较少，就是水云母脱钾的结果。

盐类的淋溶进于钙、镁碳酸盐的淋淀阶段，土壤呈盐基饱和状态，中性至微硷性反应。

### 6. 隐粘化——碳酸盐淋溶带

本地带包括暖温带草原黑垆土区，温带草原黑钙土区及干草原栗钙土区。其风化过程的特点之一，即是无明显的粘化层，但与母质相比具有隐粘化特征（见表2）。从盐类的淋溶程度来看，也都处于碳酸盐的淋淀阶段，大多有较为明显的钙积层。

**表2 草原土壤的隐粘化现象**  
（摘自《中国土壤》的有关部分）

| 土壤          | 深度<br>(厘米) | <0.001毫米的<br>粘粒含量(%) | 土壤               | 深度<br>(厘米) | <0.001毫米的粘粒<br>含量(%) |
|-------------|------------|----------------------|------------------|------------|----------------------|
| 黑<br>钙<br>土 | 0—18       | 15.7                 | 暗<br>栗<br>钙<br>土 | 0—10       | 8.5                  |
|             | 18—44      | 17.2                 |                  | 30—40      | 13.5                 |
|             | 44—77      | 10.9                 |                  | 55—65      | 13.0                 |
|             | 77—110     | 11.1                 |                  | 90—100     | 9.0                  |
|             | 110以下      | 12.8                 |                  |            |                      |
| 黑<br>垆<br>土 | 2—12       | 14.8                 | 淡<br>栗<br>钙<br>土 | 0—8        | 21.4                 |
|             | 18—28      | 15.0                 |                  | 15—25      | 18.7                 |
|             | 40—55      | 20.4                 |                  | 40—50      | 18.0                 |
|             | 60—73      | 20.2                 |                  | 90—100     | 18.3                 |
|             | 100—115    | 18.4                 |                  | 135—145    | 15.9                 |
|             | 185—220    | 14.6                 |                  |            |                      |

### 7. 石膏——碳酸盐淋溶带

此带包括荒漠草原灰钙土和棕钙土地区。由于气候比较干旱，故土壤的风化程度较低，次生粘土矿物的形成基本上处于初期脱钾阶段，主要粘土矿物为水云母。

该地区的水分状况属季节性弱淋溶型，因淋溶作用较弱，故在剖面下部多有易溶盐

类和石膏晶簇的聚积。而且钙积层位较高,一般出现于 15—30 厘米处(草原土的钙积层多在 30—50 厘米以下)。

### 8. 砂砾化——盐类聚积带

此带的生物气候条件为温带或暖温带荒漠。由于降水奇缺,蒸发强烈,土壤水分运行以上升为主,土壤湿润厚度不大,在细土物质上亦不超过 30—40 厘米。这种水分状况决定了漠境地区风化和淋溶作用均很微弱。此外,风蚀作用也颇强烈,往往形成砾幕或沉砂。

弱度的风化和强烈的风蚀,造成了母质和土壤的粗骨性。同时,因淋溶作用甚弱,故残积盐化极为普遍。而且石膏的聚积层位很高,大多出现于 10—40 厘米处。一般土壤自表层开始即为强石灰反应,无明显的碳酸盐淋淀现象(即无钙积层)。

### 9. 脱铁——粘化带

本带包括温带针阔叶混交林区的暗棕壤,森林草原区的灰黑土以及白浆土、黑土的分布地区。其中白浆土和黑土的滞水脱铁过程虽受粘重母质的影响,但也与低温潮湿的生物气候条件密不可分。

在暗棕壤和灰黑土地区因温度偏低,雨量丰富,有机质积累较多,故表层土壤中氧化还原电位甚低,极易引起铁、锰的还原。而在白浆土和黑土地区则因季节性冻层,粘重的母质以及较为湿润的气候条件的影响,使土壤上层处于周期性滞水状态。因缺氧条件的发展,铁、锰受到还原。在上述两种情况下所形成的还原态铁、锰,随水迁移至心土层后,便被氧化而沉淀,形成胶膜或结核。

在这些土壤中,粘粒的淋溶聚积作用都很明显,常常形成粘重的心土层。然而,粘粒基本上是机械地移动,一般无破坏现象,粘粒的硅铝率和硅铝铁率在发生土层中尚无明显的变化(见表 3)。

### 10. 脱铁铝富硅带

在大兴安岭北端寒温带明朗针叶林下,除因气候冷湿,有机质积累较多,嫌气条件发展之外,还因凋落物中盐基缺乏,不足以中和凋落物分解过程中所形成的有机酸,致使土壤溶液呈酸性——强酸性。加之有机质中含有较多的酚类和富里酸,这些便为脱铁铝富硅过程准备了条件。脱铁铝富硅过程的发生受两种作用的影响,一是嫌气条件下的还原脱铁作用,另一方面则是随着土壤溶液的酸化和胶体逐步为氢饱和,粘土矿物晶格中的铝不断水解而析出。在酚类物质和富里酸的参与下,铝离子发生络合淋溶与淀积。这样,便形成了氧化硅相对富集的灰化层和有机质——铁铝淀积层,即漂灰土的层次结构。

上述 10 个土壤风化带都是一定生物气候条件下的产物,因而随着生物气候带的演替,便呈现出地带性。譬如,我国东南沿海地区自北而南,随着纬度的变化有寒温带明朗针叶林带\*\*、温带针阔叶混交林带、暖温带落叶阔叶林带、北亚热带混生常绿阔叶

\*\* 文中有关生物气候带的划分,均依照 1959 年出版的《中国综合自然区划(初稿)》。

表 3 几种土壤粘粒的迁移及粘粒化学性质的比较  
(摘自《中国土壤》的有关部分)

| 土壤  | 深度<br>(厘米) | 发生土层           | 粘粒 (%) | $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ |
|-----|------------|----------------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 暗棕壤 | 2—5        | A <sub>0</sub> | 7.0    | 3.26                                 | 2.49                                |
|     | 5—13       | A              | 8.0    | 3.03                                 | 2.29                                |
|     | 25—58      | B              | 10.8   | 2.82                                 | 2.02                                |
|     | 90—100     | C              | 3.0    | 3.10                                 | 2.21                                |
| 灰黑土 | 5—15       | —              | 13.2   | 3.74                                 | 2.84                                |
|     | 20—30      | —              | 14.3   | 3.85                                 | 2.92                                |
|     | 55—65      | —              | 15.8   | 3.81                                 | 3.01                                |
|     | 100—110    | —              | 9.3    | 4.03                                 | 3.07                                |
|     | 130—140    | —              | 10.5   | —                                    | —                                   |
| 白浆土 | 0—5        | A              | 37.7   | 3.81                                 | 2.91                                |
|     | 45—55      | W              | 24.1   | 3.87                                 | 3.08                                |
|     | 55—75      | B              | 51.5   | 3.51                                 | 2.67                                |
| 漂灰土 | 13—20      | A <sub>2</sub> | 6.7    | 3.00                                 | 2.82                                |
|     | 28—48      | B              | 4.8    | 2.20                                 | 1.57                                |
|     | 75—85      | C              | 2.9    | 2.93                                 | 2.19                                |

树种的落叶阔叶林带、中亚热带常绿阔叶林带以及南亚热带和热带季雨林带，那么，相应的土壤风化带便为脱铁铝富硅带、脱铁——粘化带、粘化带、粘化——弱度脱硅富铝化带、中度脱硅富铝化带以及强度脱硅富铝化带。这种规律性的演替现象，从气候角度来看，虽是水热条件共同作用的结果，但主要受热量条件的支配。再如，我国暖温带地区由东向西沿着经度方向依次为落叶阔叶林带、干旱森林和森林草原带、草原和干草原带以及荒漠草原带，其相应的土壤风化带便为粘化带、残积粘化——碳酸盐淋溶带、隐粘化——碳酸盐淋溶带以及石膏——碳酸盐淋溶带。在温带地区，自东而西随着针阔叶混交林带、森林草原和草原带向干草原带、荒漠草原带及灌木荒漠带的演替，也相应地出现脱铁——粘化带、隐粘化——碳酸盐淋溶带、石膏——碳酸盐淋溶带和砂砾化——盐类聚积带。这种经度方向的规律性演替现象虽也伴随着水热条件的变化，但以水分条

件为主导,即主要因海陆分布的不同,干湿状况的差异所致。

本文曾蒙吴守仁老师指导,谨此致谢。

## 主 要 参 考 文 献

- (1) 张效年、李庆逵: 华南土壤的粘土矿物组成      土壤学报第6卷第3期
- (2) 中国科学院南京土壤研究所主编: 中国土壤
- (3) 中国土壤区划(初稿), 1959年出版
- (4) В·А·柯夫达著: 中国之土壤与自然条件概论
- (5) И·П·格拉西莫夫, 马溶之: 中国土壤发生类型及其地理分布      土壤专报  
第32号
- (6) 谢向荣: 波雷诺夫院士及其风化壳景观地球化学学说      土壤通报 1958 年  
第2期
- (7) А·И·彼列尔曼著: 后生地球化学
- (8) 许冀泉编: 粘土矿物与土壤
- (9) К·И·卢卡舍夫著: 苏联境内风化壳的地带性、地球化学类型