

变性土年龄研究

刘 良 楮

(中国科学院南京土壤研究所)

我国变性土是指广布于暖温带和亚热带河湖相沉积物上发育的砂姜黑土、膨粘土,以及亚热带和热带玄武岩上发育的暗色土。它们既含有一定数量的有机质,又富含以钙质结核和分散碳酸盐形态聚集的碳酸盐。这为对变性土进行有机和无机放射性碳断代奠定了基础。本文拟就变性土的有机质放射性碳断代、变性土的碳酸盐放射性碳断代、变性土的年龄以及埋藏变性土的发育和年龄四个方面分别予以论述。

一、变性土的有机质放射性碳断代

暖温带河湖相沉积物发育的变性土具有一个共同的特征,即拥有一个在全新世最佳期,湖沼草甸环境下形成的黑土层。广泛分布于皖、苏、鲁等地的变性土的黑土层,总体上呈黑色(干态 10YR3/1—10YR5/1,湿态 10YR2/1—10YR3/1),厚 10—40cm,有机碳含量在 4.2—8.4 g/kg)。尽管它们的有机碳含量相对较少,但在土壤富集预处理的前提下,基本上可满足放射性碳液闪常规测量的要求。倘若运用“小样品量”的方法,甚或运用先进的加速器质谱方法则更能圆满解决变性土有机碳含量少的困扰。

采自安徽、山东和江苏 13 个黑土层的有机质样品,经¹⁴C 测量,年龄在 1705—4865 年之间。13 个样品的年龄加权平均值距今 2990±110 年。数理统计表明,黑土层有机碳的年龄与剖面深度之间的相关系数只有 0.41。换言之,黑土层相对固定于土壤剖面的一定深度中。

河湖相冲积平原洼地的湖黑土,由于脱离湖沼草甸环境较迟,成土年龄相对年轻些。其中位于安徽省涡阳县洼地底部的黑土层年龄为距今 1705±80 年,江苏省新沂市和山东省临沂市湖黑土的黑土层年龄分别为 1830 年和 1850 年。相反,位于小地形高处的岗黑土,其黑土层不仅色较淡些,而且成土年龄亦大得多。例如,江苏省新沂市的岗黑土的黑土层年龄为 4130 年,安徽省蒙城县获得的¹⁴C 年龄为 4865 年。显而易见,黑土层的有机碳年龄与它所分布的地形部位关系十分密切。

对于亚热带河湖相沉积物上发育的变性土而言,表层有机碳含量可高达 25.5g/kg,随着深度的增加有机碳量有所减少,1m 左右深度处有机碳量减到 8.6—3.4g/kg。9 个有机质样品的¹⁴C 测定表明,土壤成土年龄较大,回归方程得到的年龄为 18000 年。不言而喻,它与暖温带河湖相沉积物上发育的变性土一样,同系晚更新世后期的成土产物。

亚热带和热带玄武岩母岩上发育的变性土,其暗色层可厚达 1m 左右。虽然随着深度的增加有机碳减少,但有机碳含量的递减不明显,表层可达 16.9g/kg。加之,该土壤质地一般较粘重,预处理后仍不失为研究土壤有机质放射性碳断代的对象。6 个样品测量表明,它的成土年

* 国家自然科学基金资助项目

龄相对较年轻,但年龄与剖面深度之间呈现良好的相关性($r=0.759$)。

众所周知,无论是热带和亚热带还是暖温带的变性土,表土层均含有较为丰富的有机质。因此,它也是适合于有机放射性碳断代的对象。 ^{14}C 断代表明,福建 R92-1 变性土剖面表层 0—20cm 的有机质年龄为 680 年,云南 0—12cm 表层的年龄为 390 年^[1],广西壮族自治区田东县表层的年龄可达 1290 年。相反,广西白色县 R92-3 剖面 0—17cm 表层的 ^{14}C 断代结果表明它属于“现代碳”范畴。据有关 ^{14}C 数据的分析和回归方程的计算,淮北平原变性土表层的 ^{14}C 年龄为 1720 ± 70 年 B.P.。由此可见,变性土表层的年龄变幅较大,可从现代碳范围直至 1000 余年,充分显示出单个土体的差异。

二、变性土的碳酸盐放射性碳断代

变性土含有丰富的碳酸盐。它们以钙质结核和分散碳酸盐的形态出现在土壤剖面中。下面拟将它们的 ^{14}C 年龄分别予以介绍。

(一) 钙质结核的 ^{14}C 年龄

钙质结核是我国发育于河湖相沉积物变性土剖面中的一个普遍特征。它含有相当丰富的碳酸盐,高者可达 $720\text{g}/\text{kg}$,低者亦有 $290\text{g}/\text{kg}$ 。其中碳酸钙成分占绝对优势,可占到碳酸盐总量的 97%。此外,它尚含有一定数量的碳酸镁和碳酸镨。钙质结核中碳酸盐含量的变化不仅受结核类型的制约,而且还与它在剖面中的位置、形成环境密切相关^[1,2]。显然,钙质结核不仅是放射性碳断代的良好对象,而且还是阐明土壤表生地球化学特征的有力手段。

表 1 揭示了变性土剖面中钙质结核类型、分布深度和年龄三者之间的关系。首先,它反映出钙质结核中的无机碳含量颇为丰富,变幅在 $35.0\text{—}82.6\text{g}/\text{kg}$ 之间;其次,在同一剖面中,随着深度的增加, ^{14}C 年龄明显增大;第三,无论是在同一个剖面中,还中在不同剖面中,锥形钙质结核的年龄总是小于完形钙质结核,而完形结核的年龄又小于钙质硬盘。

根据数理统计,锥形钙质结核形成于全新世中期,4 个样品年龄的加权平均值距今 6780 ± 130 年;完形钙质结核主要形成于晚更新世后期,限于全新世中期二元结构的特点,仅有少数形成于全新世中期,31 个样品的加权平均值为距今 1567 ± 370 年;钙质硬盘年龄最老,所测的

表 1 变性土剖面中钙质结核的放射性碳年龄

| 剖面号 | 采样深度(cm) | 钙质结核类型 | 无机碳(g/kg) | ^{14}C 年龄(Y,B,P) | 地质时期 |
|---------|----------|--------|-----------|---------------------------|---------|
| R 83-2 | 15-50 | 完形 | 62.5 | 6980 ± 80 | Q_3^3 |
| | 50-90 | 锥形 | 38.3 | 6220 ± 200 | Q_3^3 |
| | 90-170 | 完形 | 76.5 | 17280 ± 380 | Q_3^3 |
| | 170-250 | 完形 | 74.9 | 18190 ± 380 | Q_3^3 |
| | 330-355 | 硬盘 | 82.6 | >40000 | Q_3^3 |
| R 83-9 | 76-106 | 完形 | 71.6 | 6890 ± 170 | Q_3^3 |
| | 106-155 | 完形 | 72.5 | 15250 ± 645 | Q_3^3 |
| | 260→ | 完形 | 51.9 | 27850 ± 180 | Q_3^3 |
| R 87-10 | 82-103 | 锥形 | 35.0 | 6515 ± 100 | Q_3^3 |
| | 103-150 | 完形 | 71.7 | 23635 ± 410 | Q_3^3 |
| | 150-250 | 完形 | 64.5 | 22910 ± 490 | Q_3^3 |

[1] 仇荣亮硕士论文

1 个样品年龄在 40000 年以上。上述 3 个类型 36 个样品建立的回归方程为 $y = 87.0x + 6377.2$, 其相关系数为 0.61。

笔者在野外观察中见到一些十分有趣的现象:一是,在 R89—1 土壤剖面的 44—92cm 土层中,顶部分布有较多的小结核,而下部的钙质结核较大。由于其他特性无多大分异,故仍划为同一土层。但断代结果表明,前者距今 12770 ± 350 年,后者距今 14395 ± 430 年。这种现象在印度的变性土中也有发生;二是,在 R91—3 土壤剖面的 56—83cm 土层中,见到颜色略有差异的两种钙质结核。笔者分别对呈黄色和偏灰黄色的结核采样和断代。由于灰黄色钙质结核的统计测量误差较大,结果二者在误差范围内年龄相同;三是,锥形和完形钙质结核分布于同一个土层中。例如, R87—6 剖面 70—120cm 深度的锥形结核距今 8660 ± 140 年,而完形结核形成于距今 16480 ± 150 年。显然,它们是两个地质时期的产物,前者形成的速度约是后者的两倍。对此,笔者的解释是,地下水在两个不同时期,活动于同一地下水平面的结果^[1]。此外,由于钙质结核是由里向外增长及其化学成分与年龄之间有一定的相关性^[2,3],我们有理由认为,结核里层的年龄应大于外层。遗憾的是,我们仅对变性土中的内、外层钙质结核进行了化学成分分析,而未进行相应的年龄测定。但从整个结核的年龄为 27730 年来推断,里层年龄应大于 28800 年,而外层则小于 26600 年。

(二) 分散碳酸盐的¹⁴C 年龄

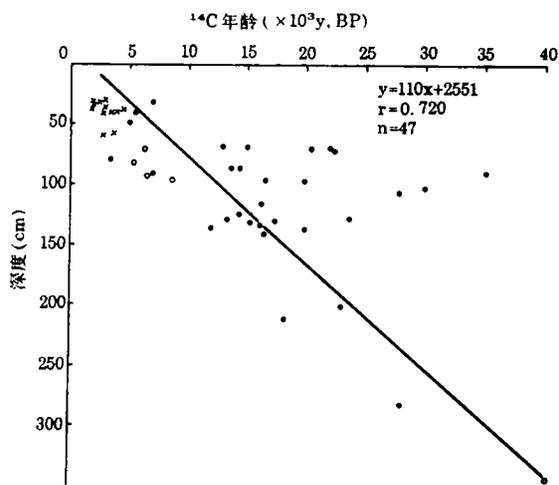
我国河湖相沉积物发育的变性土剖面中,含有数量不等的分散碳酸盐,少者仅 20g/kg,多者可达 278g/kg。一般说来,剖面上部含量普遍较少,而下部相对丰富得多。因此,土壤剖面下面的分散碳酸盐聚集层亦是¹⁴C 断代的适合对象。笔者选择广西白色 R92—3 土壤剖面的 53—83cm 和 83—95cm 两层分别进行了化学分析和¹⁴C 断代。B_{ca1} 层含有 185g/kg 碳酸盐,其无机碳年龄为 10160 ± 310 年;B_{ca2} 层含有 161g/kg 碳酸盐,形成年龄距今 12930 ± 260 年。两层形成速率相差极大,前者为 0.03mm/y,后者为 0.009mm/y。

三、变性土的年龄

关于变性土年龄拟从我国暖温带河湖相沉积物发育的变性土;亚热带河湖相沉积物发育的变性土的年龄;亚热带和热带玄武岩发育的变性土,以及变性土中的钙质结核等 4 个方面加以阐述。

暖温带变性土系发育于黄淮海冲积平原(包括皖、鲁、苏)河湖相沉积物上的土壤。由于环境的变迁,暖温带分布的变性土包含残余土和埋藏土两大类型^[4]。这里叙述的变性土年龄专指前者。残余变性土剖面除了表土层以外,自上而下尚具有两个明显的发生层,一是黑土层,另一是钙质结核黄土层。后者又可细分为锥形钙质结核黄土层和完形钙质结核黄土层。黑土层是在暖湿气候、亚热带湖沼草甸植被条件下的成土产物。而钙质结核黄土层是在干、凉气候,并在富含重碳酸钙、镁、锶的地下水的参与下形成的。不言而喻,暖温带河湖相沉积物发育的残余变性土的年龄应包含黑土层有机碳的年龄和钙质结核黄土层无机碳的年龄。换言之,47 个样品的年龄应理解为暖温带残余变性土的全碳年龄。土壤全碳年龄和剖面分布深度之间有着良好的相关性(图 1)。该地区变性土年龄为 15750 年。

亚热带河湖相沉积物上发育的变性土的年龄与深度之间的关系,基本上类似于暖温带相同母质发育的变性土。该地区的变性土除了受河湖相沉积物影响外,还受古环境中碳酸盐的影响。因此,其地表变性土的年龄代表土壤有机碳以及钙质结核和分散碳酸盐的无机碳年龄。

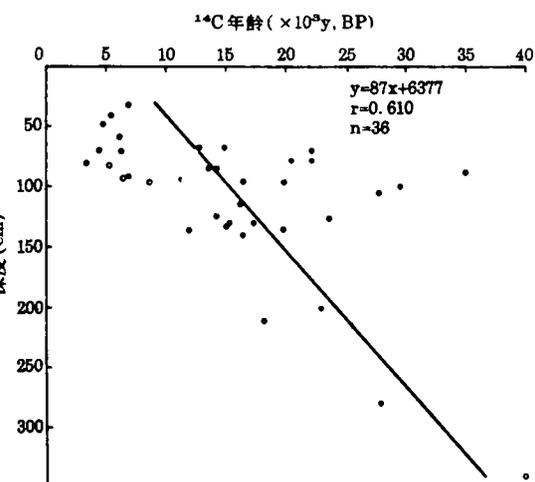


× 有机质; ○ 锥形钙质结核; • 完形钙质结核

图1 暖温带河湖相沉积物发育的变性土年龄与深度之间的相关性曲线

发育在雷州半岛和福建漳浦地区玄武岩母岩上的变性土有深厚的暗色土层,有机碳含量在 5.7—9.4g/kg 之间,土体内且无碳酸盐存在,故所分析的 6 个样品的年龄纯属土壤有机碳的年龄。它与深度的相关性较好,相关系数为 0.795,其成土年龄也相对年轻得多。

钙质结核是我国暖温带和亚热带河湖相沉积物上发育的变性土剖面中的一个普遍特征。在暖温带,变性土中的钙质结核不仅丰富,而且可间断地或连续地多层分布,且结核的直径亦远大于亚热带地区变性土。两个地区钙质结核的成因尽管有些不同,但都是我国变性土无机放射性碳断代的典型对象。分别采自安徽、山东、江苏和广西的 36 个钙质结核样品,随着土壤剖面深度的增加,结核的直径趋于增大,数量也有所增加,而且年龄趋大。年龄与深度之间的线性加归方程和相关系数反应了¹⁴C 年龄的特征(图 2)



• 锥形钙质结核; ○ 完形钙质结核

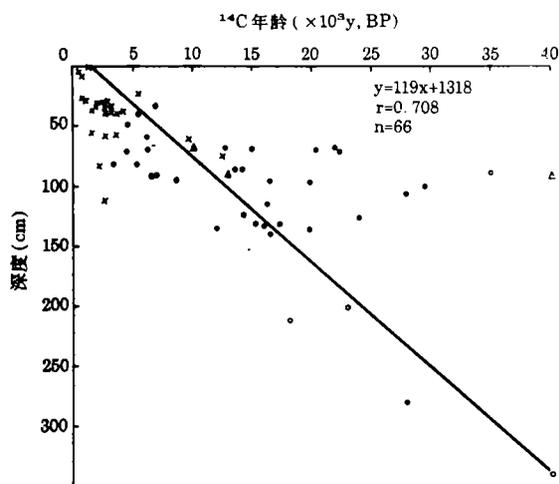
图2 变性土中钙质结核的年龄与深度之间的相关性曲线

综上所述,在所研究的 66 个变性土的年龄中,有 27 个属有机碳年龄。36 个钙质结核和 3 个属分散碳酸盐无机碳的年龄(图 3)。¹⁴C 断代回归分析表明,它是晚更新世后期以来的成土产物,形成于距今 15600 年以前。我国变性土的发育类似于暖温带河湖相沉积物发育的变性土。其中的玄武岩发育的变性土的成土速率最快,钙质结核的形成速度次之。从不同角度¹⁴C 断代的结果分析,年龄与深度之间的相关性较为一致。

四、埋藏土的发育和年龄

我国埋藏变性土有两种:一种是分布于暖温带淮河支流的两岸低平地区的埋藏变性土;另一种是处于亚热带右江谷地丘陵缓坡中下部的埋藏变性土。

淮北平原地势平坦,坡降 1/8000—1/10000,并且淮河北岸众多支流发源于黄河,因此黄河带来的大量泥沙往往沉积于淮河之中。而淮河河水出路又不畅,河道狭窄,加之夏秋多暴雨,致使河水顶托、倒灌、泛滥成灾,在沿河低平地区的变性土上常覆盖一层富含碳酸盐的红棕色近代河流泛滥物质,唯厚薄不一,厚者 1—10 米,浅者仅有数十厘米。从表 2 中看出,暖温带埋藏土剖面依然由表土层、黑土层和钙质结核黄土层所构成。上覆层沉积物经 1700 余年的成土



× 有机质; • 锥形钙质结核; ○ 完形钙质结核; △ 分散碳酸盐

图3 中国变性土年龄与深度之间的相关性曲线

作用发育为潮土,土体富含碳酸盐。97cm 土层碳酸盐的加权平均值为 145.8g/kg,而埋藏土 103cm 厚的土体仅含 28.8g/kg 碳酸盐。地表土壤全氮量(0.69g/kg)亦大大高于埋藏土(0.29g/kg)。埋藏土在 1700 余年前被埋藏,随后基本脱离了生物小循环。由于矿质化作用减弱,C/N 比值远远高于上覆土壤。

经¹⁴C 断代,埋藏土的黑土层年龄距今 4225±55 年,与淮北平原的黑土层有机碳年龄的加权平均值相吻合。表 2 还表明,潮土以每年 0.57mm 的成土速度覆盖于埋藏土之上。而埋藏变性土形成于 7000 年以前,其中发育的两层钙质结核黄土则为全新世中期的产物。

南亚热带右江谷地见到的埋藏土与上述埋藏土的形成和特性明显不同。由于它位于丘陵缓坡中下部,在湿热气候条件下受到中上部坡

表 2 暖温带埋藏土的性质和年龄

| 土壤类型与发生层 | | 采样深度 (cm) | pH | 有机碳 (g/kg) | 全氮 (g/kg) | C:N | 碳酸盐 (g/kg) | 年龄 (Y.B.P) |
|----------|------------|-----------|------|------------|-----------|-------|------------|------------|
| 潮土 | | 0-97 | 8.23 | 5.3 | 0.69 | 7.68 | 145.8 | 1715±65 |
| 埋藏变性土 | 表层 | 97-107 | 8.14 | 3.5 | 0.38 | 9.31 | 19.7 | 3425±85 |
| | 黑土层 | 107-120 | 8.04 | 5.6 | 0.37 | 15.21 | 21.7 | 4225±55 |
| | 钙质结核黄土层 I | 141-160 | 8.14 | 5.2 | 0.27 | 19.12 | 29.5 | 5610±80 |
| | 钙质结核黄土层 II | 160-200 | 8.16 | 5.5 | 0.23 | 23.96 | 34.1 | 7005±75 |

表 3 南亚热带埋藏土的性质和年龄

| 土壤类型 | 深度 (cm) | pH | 有机碳 (g/kg) | 全氮 (g/kg) | C:N | CaCO ₃ (g/kg) | CEC (Cmol/kg) | 粘粒 (SiO ₂ Al ₂ O ₃) | 年龄 (Y.B.P) |
|-------|---------|------|------------|-----------|------|--------------------------|---------------|---|---------------------|
| 地表变性土 | 0-95 | 8.34 | 9.7 | 1.21 | 8.02 | 91.8 | 26.55 | 2.85 | 12930±260 (83-95cm) |
| 埋藏变性土 | 95-110 | 8.40 | 8.6 | 1.05 | 8.19 | 9.0 | 28.38 | 2.83 | 20600±195 |
| | 110-125 | 8.46 | 3.3 | 0.86 | 3.84 | 25.0 | 23.01 | 2.94 | 25770±360 |

积物质的堆积,从而形成埋藏土。地表土壤由于常年种植经济作物,有机质和全氮含量相对较高(表 3)。在气候(年降水量 1100mm,年均温 21.5°C)影响下,母质中的碳酸钙遭受风化和淋溶,并淀积于 53—95cm 的土层中,导致 0—95cm 土体内碳酸钙含量高达 91.8g/kg。相比之下,埋藏土中的碳酸盐要少得多。但无论是地表土壤,还是埋藏土,它们的阳离子交换量均较高。这与它们的粘土矿物以 2:1 型的蒙皂石为主有关。粘粒硅铝率也介于 2.8—2.9 之间,表明它们的风化成土作用较强。埋藏变性土基本是在晚更新世末期,即 12930 年前被埋藏的。

参 考 文 献

- [1] Liu Liangwu. Formation and evolution of vertisols in Huaibei Plain. *Pedosphere*, Vol. 1, No. 1, 1991.
- [2] 刘良梧、茅昂江, 淮北平原砂姜黑土的年龄研究, 砂姜黑土综合治理研究, 安徽科学技术出版社, 1986
- [3] 刘良梧、茅昂江, 钙质结核放射性碳断代的研究, 土壤学报, 第 23 卷, 2 期, 1986。