

# 黄淮海平原晚第四纪古土壤

刘良梧

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 本文运用孢子花粉、古生物化石和放射性碳断代等手段, 从土壤剖面层段的特征, 土壤年龄和环境变化方面证明, 分布于黄淮海平原的变性土不是现代土壤, 而是古土壤。该古土壤自晚更新世晚期以来经历了三次沉积—成土作用旋回, 其土壤发育程度较弱, 且是由钙质结核土层、暗色土层、表土层和(或)淤土层组成的一个叠置型古土壤。

**关键词** 古土壤, 土壤<sup>14</sup>C年龄, 环境变化, 沉积—成土作用旋回

**中图分类号** S151

变性土广泛分布于我国黄淮海平原, 主要见于淮北平原、徐淮平原、沂沭河平原和胶莱平原等地, 通常由“表土层”、“暗色土层”和“钙质结核土层”所组成, 甚或顶部上覆一“淤土层”。早在一千七百余年前, 该土壤已被开垦种植作物, 在部分水利条件优越的地区还种植过水稻。前人的研究认为<sup>[1,2]</sup>, 它是古老的耕作土壤, 即现代土壤。笔者在前人研究的基础上, 运用孢粉分析、古生物化石和<sup>14</sup>C断代等手段, 就土壤剖面层段的特征, 土壤年龄和土壤形成环境三方面予以论证, 该土壤不是现代环境条件下形成的产物, 而是在不同地质时期和环境有别的多元母质上发育而成的古土壤。

## 1 土壤的特征

### 1.1 钙质结核的特征

钙质结核是该土壤的一个重要特征。钙质结核在土壤剖面中通常聚集成层, 少者一层, 多者数层间隔, 甚或数层连续分布。因钙质结核的形态、发育程度和化学成分的不同, 在剖面中相应地出现锥形钙质结核层和完形钙质结核层, 甚或钙质硬磐层<sup>[3]</sup>。

钙质结核的 pH 变化范围不大, 界于 8.4—8.7 之间。钙质结核中的有机碳含量极少。其中以锥形钙质结核为最高, 达 2.1g/kg。这与它含有较多的土壤基质有关。众所周知, 钙质结核富含碳酸盐。其中碳酸钙含量约占到碳酸盐总量的 97%。据统计, 锥形钙质结核的碳酸钙含量相对较少为 412g/kg, 完形钙质结核为 551g/kg, 而硬磐高达 691g/kg。同样, CaO 含量亦随着钙质结核由锥形发育为完形, 直至硬磐而相应地从 24.4% 增加到 32.7% 和 40.0%<sup>[4]</sup>。相反地, SiO<sub>2</sub> 含量明显减少, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 的含量亦趋于减少(见表 1)。

表1 钙质结核及其周围土壤的化学成分(占烘干土重g/kg)

Table 1 Chemical composition of calcareous concretion and surrounding soil (g/kg in oven-dry soil)

| 结核类型及其<br>周围的土壤<br>Type of calcareous<br>concretion and<br>surrounding soil | 雏形钙质结核<br>Embryonic<br>concretion | 雏形钙质结核<br>层土壤<br>Soil horizon with<br>embryonic<br>concretion | 完形钙质<br>结核<br>Mature<br>concretion | 完形钙质结核<br>层土壤<br>Soil horizon with<br>mature concretion | 钙质硬磐<br>Hardpan |
|---|-----------------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------|
| 样品数( <i>n</i> )   | 7                                 | 6   | 26                                 | 23  | 2               |
| SiO <sub>2</sub>  | 380.2                             | 617.8   | 269.5                              | 627.9   | 139.8           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 30.9                              | 48.5  | 25.7                               | 56.1  | 31.5            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 75.5                              | 130.1   | 57.2                               | 140.9   | 49.8            |
| CaO   | 244.3                             | 61.3  | 327.0                              | 42.7  | 400.3           |
| MgO   | 19.6                              | 20.5  | 16.1                               | 18.9  | 17.3            |
| TiO <sub>2</sub>  | 3.9                               | 6.0   | 2.6                                | 6.6   | 2.5             |
| MnO   | 0.73                              | 0.93  | 1.39                               | 1.32  | 2.20            |
| K <sub>2</sub> O  | 15.8                              | 19.8  | 14.9                               | 20.1  | 2.9             |
| Na <sub>2</sub> O   | 11.8                              | 14.9  | 8.2                                | 12.6  | 2.9             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | 0.67                              | 1.02  | 0.57                               | 1.23  | 0.57            |

钙质结核在由核心向外生长,由小变大的过程中,元素地球化学特征呈现出内层相对富集钙,贫缺硅、铁、铝和钛等元素,而外层正好相反。这与钙质硬磐到完形和雏形钙质结核的状况完全一致。

表2 钙质结核及其周围土壤中的微量元素丰度(mg/kg)

Table 2 Microelement abundance of calcareous concretion and surrounding soil (mg/kg)

| 结核类型及其<br>周围的土壤<br>Type of calcareous<br>concretion and<br>surrounding soil | 雏形钙质结核<br>Embryonic<br>concretion | 雏形钙质结核<br>层土壤<br>Soil horizon with<br>embryonic<br>concretion | 完形钙质<br>结核<br>Mature<br>concretion | 完形钙质结核<br>层土壤<br>Soil horizon with<br>mature concretion | 钙质硬磐<br>Hardpan |
|---|-----------------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------|
| 样品数( <i>n</i> )   | 6                                 | 3   | 10                                 | 6   | 1               |
| Cu  | 1.4                               | 6.5   | 2.0                                | 3.7   | 3.6             |
| Zn  | 40.8                              | 93.2  | 24.0                               | 116.1   | 35.5            |
| Co  | 3.4                               | 14.0  | 4.6                                | 9.4   | 13.2            |
| Ni  | 17.5                              | 45.8  | 11.4                               | 31.5  | 24.4            |
| Cr  | 20.8                              | 54.1  | 13.9                               | 156.6   | 4.0             |
| V   | 59.1                              | 114.5   | 35.3                               | 104.1   | 54.5            |
| Sr  | 179.1                             | 122.4   | 197.7                              | 135.8   | 332.1           |
| Ba  | 327.1                             | 543.9   | 336.8                              | 559.8   | 256.7           |
| Pb  | 1.6                               | 18.8  | 5.8                                | 13.5  | 痕量              |
| Sr/Ba   | 0.55                              | 0.23  | 0.59                               | 0.24  | 1.29            |

为了阐明钙质结核形成过程中元素的富集状况,我们将钙质结核的全量化学组成和微量元素丰度与相应的土壤作一统计比较。其中钙质结核里的氧化钙含量比相应层的土壤高4—8倍。反之,硅、铝、钛等元素相对贫乏,其量约为土壤的2/3—1/2(表2)。鉴于铯的地球化学行为类似于钙,并且比钡更活跃,因此它更易成为钙质结核中富集的重要元素(表3)。

表3 土壤层的化学性质

Table 3 Chemical properties of soil horizons

| 土壤层                      | 表土层             | 暗色土层              | 雏形钙质结核土层                               | 完形钙质结核土层                            |
|--------------------------|-----------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| Soil horizon             | Topsoil horizon | Dark soil horizon | Soil horizon with embryonic concretion | Soil horizon with mature concretion |
| pH                       | 7.82            | 7.79              | 8.19                                   | 8.08                                |
| 有机碳(g/kg)                | 7.4             | 5.9               | 2.8                                    | 2.2                                 |
| N(g/kg)                  | 0.95            | 0.61              | 0.33                                   | 0.28                                |
| P(g/kg)                  | 1.27            | 1.00              | 1.03                                   | 0.91                                |
| CaCO <sub>3</sub> (g/kg) | 25.3            | 17.4              | 97.1                                   | 53.4                                |
| CEC(cmol/kg)             | 24.64           | 28.00             | 15.72                                  | 15.01                               |

## 1.2 土壤发生层的特征

上面我们已经谈到,钙质结核土层可分为雏形钙质结核土层和完形钙质结核土层。前者是全新世中期沉积物呈现二元结构特征时,在下部灰黄色亚粘土古河流冲积物上发育的土壤,而后者则是晚更新世晚期黄土性古河流冲积物上形成的。尽管成土时期有异,但环境基本雷同,为此两层土壤的基本化学性质类似。土壤呈微碱性反应,有机质和氮、磷养分含量较低,阳离子交换量小(表3)。至于两层土壤富含钾素则与母质的供给有关。另外,雏形钙质结核土层富含碳酸盐,与结核的形态和元素富集特点紧密相连。虽然这两层土壤的风化淋溶程度和发育程度均很弱,但二者之间仍呈现出一定的差异。除了CaO、MgO和Na<sub>2</sub>O含量以外,雏形钙质结核土层的元素氧化物含量均小于完形钙质结核土层,并且前者的风化淋溶系数(ba值)和土体硅铝率明显高于后者(表4)。看来成土时间尺度起到一定的作用。

暗色土层,亦称黑色土层,一般位于犁底层之下,有的则紧邻耕作层,厚约30cm,呈中性至微碱性反应。土色暗(干态10YB3/1—10YR5/1,湿态10YR2/1—10YR1/3),但有机碳含量并不高,一般在4.1—8.4g/kg之间,平均含量为5.9g/kg。在良好的生物-气候环境下,土壤的有机质、氮和阳离子交换量明显高于钙质结核土层,而碳酸盐含量微乎其微。鉴于边沉积边成土作用的特点,土壤发育程度依然很弱,仅风化淋溶程度稍强些,ba值为0.9(表4)。

黄淮海平原是我国古老的农业基地之一。在温和、半湿润的气候条件和人为活动影响下,表土层颜色变浅,厚约18cm,有机碳平均含量达7.4g/kg,高于暗色土层。另外,表土层的氮、磷、钾养分含量亦高于暗色土层。

如果表土层遭受近代黄泛物质沉积作用的影响,且深度小于20cm者,则在人为活动中与原表土混合,新特征不明显。否则,淤土层则显示出棕红色和富含碳酸盐的特性。其

表4 土壤层的化学组成(占烘干土重g/kg)

Table 4 Chemical composition of soil horizons (g/kg in oven-dry soil)

| 土壤层<br>Soil horizon                              | 表土层<br>Topsoil horizon | 暗色土层<br>Dark soil horizon | 雏形钙质结核土层<br>Soil horizon with<br>embryonic concretion | 完形钙质结核土层<br>Soil horizon with<br>mature concretion |
|--|------------------------|---------------------------|---|--|
| 样品数( <i>n</i> )                                  | 10                     | 11                        | 6   | 23   |
| SiO <sub>2</sub>                                 | 668.4                  | 674.8                     | 617.8   | 627.9  |
| iiiiEe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 53.7                   | 55.0                      | 48.5  | 56.1   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 134.3                  | 139.0                     | 130.1   | 140.9  |
| CaO  | 25.4                   | 19.4                      | 61.3  | 42.7   |
| MgO  | 17.4                   | 18.2                      | 20.5  | 18.9   |
| TiO <sub>2</sub>                                 | 8.5                    | 6.2                       | 6.0   | 6.6  |
| MnO  | 1.42                   | 1.45                      | 0.93  | 1.32   |
| K <sub>2</sub> O                                 | 18.7                   | 18.4                      | 19.8  | 20.1   |
| Na <sub>2</sub> O                                | 14.3                   | 13.6                      | 14.9  | 12.6   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | 1.27                   | 1.00                      | 1.03  | 0.92   |
| ba值  | 1.01                   | 0.90                      | 1.54  | 1.21   |
| SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.46                   | 8.25                      | 8.07  | 7.58   |

碳酸盐含量可增加数倍之多。从土壤层的化学性质和化学组成看来,表土层和暗色土层在人为耕作熟化影响下不仅有机质和氮、磷养分含量比下面土层有所增加外,尚有复硅的趋势。

## 2 土壤的年龄

暗色土层和钙质结核土层是古土壤剖面的典型发生层,其中后者又可细分为雏形钙质结核土层和完形钙质结核土层。钙质硬磐分布深度通常已超出正常土壤剖面范围,为反映土壤的形成、发育及其年龄特征,在此仍略述一下它的年龄。

从淮北平原钙质硬磐中存在的鹿和诺氏古菱齿象化石推断,硬磐层形成于距今16000—40000年<sup>[5]</sup>。另据金权资料,从蒙城象化石推断为13000—30000年。而<sup>14</sup>C方法测定的两个样品平均年龄为37500年。

从完形钙质结核土层30个样品分析,其年龄集中在12000—28000年之间。该层年龄的加权平均值为16770±430年。笔者在安徽凤阳一个土壤剖面的44—92cm土层中发现,该层顶部分部有较多的小结核,而下部的完形钙质结核明显较大。断代表明,前者距今12770±350年,后者距今14395±430年,两者相差1600余年<sup>[6]</sup>。鉴于它们的年龄同属一个地质时期,且该层土壤特性无多大分异,故而仍作同一土层处理。作者还发现一个有趣的现象。在山东临沂一土壤剖面的56—83cm土层中,见到颜色略有差异的两种钙质结核,为此分别采样和断代。因灰黄色钙质结核的统计测量误差较大,结果灰黄色和黄色钙质结核在误差范围内年龄相同。

雏形钙质结核在土壤剖面中的出现远远少于完形钙质结核,但它的形态、化学成分和

发育程度迥然不同于完形钙质结核。因此, 锥形钙质结核土层作为一个独立土层的年龄亦有它自己的特色。该层测定的 4 个样品年龄加权平均值为  $6780 \pm 30$  年, 系全新世中期的产物。

分布于河湖相冲积平原洼地的暗黑土, 由于脱离湖沼草甸环境较迟, 它的年龄相对年轻些。安徽涡阳一暗色土层的年龄为  $1705 \pm 80$  年, 江苏新沂和山东临沂的暗色土层年龄分别为 1830 年和 1850 年<sup>[6]</sup>。相反地, 位于小地形高处的暗色土, 年龄就大得多。如, 江苏新沂的暗色土层年龄为 4130 年, 安徽蒙城获得的年龄为 4865 年, 而安徽濉溪暗色土层年龄可高达 6000 年。采自皖、鲁、苏三地 15 个暗色土层样品年龄的加权平均值为  $3535 \pm 150$  年。

根据有关  $^{14}\text{C}$  数据的分析和回归方程的计算, 表土层的年龄应小于  $1720 \pm 70$  年。这与暗色土层的最小年龄  $1705 \pm 80$  年相符合。

综上所述, 为了阐明诸土壤发生层的年龄, 总共在皖、鲁、苏三省各地采集了 19 个土壤剖面的 49 个样品。扣除同一土层的几个重复样, 则有 45 个样品。其中完形钙质结核土层、锥形钙质结核土层和暗色土层分别为 30、4 和 15 个样品。 $^{14}\text{C}$  断代表明, 完形钙质结核土层形成于晚更新世晚期, 距今 16770 年; 锥形钙质结核土层是距今 6780 年的产物, 属全新世中期; 暗色土层同属全新世中期的产物, 不过形成时期晚于锥形钙质结核土层, 为 3535 年; 而表土层年龄最年轻, 只有 1700 年。

### 3 土壤形成的环境

完形钙质结核土层是晚更新世晚期在以灰黄、黄灰或土黄色为主的黄土性古河流冲积物上发育的土壤。孢粉分析反映出当时的环境是以针叶林为主的针阔叶混交林-草原景观和温凉偏干的气候<sup>[3,7]</sup>。华北平原的古气候波动<sup>[8]</sup>和鹿、诺氏古菱齿象、蒙城象化石的出现皆是该时期环境特征的佐证。与此同时, 在富含重碳酸盐地下水的积极参与下, 形成了大量的钙质结核。

全新世中期, 沉积物呈现二元结构的特征, 下部为灰黄色亚粘土, 其上发育有锥形钙质结核土层, 而在上部黑灰色亚粘土河湖相沉积物的基础上发育为暗色土层。全新世中期气候渐转暖湿, 湖泊的分布比现在更为广泛, 植物生长茂盛, 呈现湖沼草甸景观。孢粉分析表明, 喜湿的莎草科植物分布普遍, 而且还有亚热带沼生植物—水蕨和泥炭藓的出现。另外, 在安徽灵璧、江苏泗洪和沭阳, 河南新蔡等地发掘出的全新世中期四不象化石<sup>[9]</sup>亦证实了这里的气候和植被特征。

在沿河两岸低洼处, 近代黄泛物质于全新世晚期呈带状覆盖于表土之上, 构成了第三层母质。覆盖浅者, 经过人为耕作、施肥的影响与原表土混合。否则, 在半湿润、温和的气候, 耕作植被占优势的条件下形成的淤土层则显示出棕红色和富含碳酸盐的新特征, 从而暗示出气候有别于全新世中期。

### 4 结 语

综上所述, 分布于黄淮海平原的变性土不是在一元母质, 现代环境条件下形成的现代

土壤。它经历了晚更新世晚期、全新世中期和全新世晚期三次沉积-成土作用旋回,分别在黄土性古河流冲积物、河湖相沉积物和近代黄泛沉积物多元母质基础上发育成由钙质结核土层、暗色土层、耕作表土层和(或)淤土层构成的古土壤。其变化的环境是从晚更新世晚期,以针叶林为主的针阔叶混交林-草原,温凉偏干的气候过渡到全新世中期暖湿并以湖沼草甸为主的景观。此时木本植物虽有减少,但阔叶成分明显增多。最终,在近一千七百余年的人为活动影响下,进入全新世晚期以耕作植被占优势的温和半湿润气候。显然,环境的变化在土壤特性上亦有所反映。只不过鉴于边沉积边成土作用的结果,这数层土壤的发育程度较弱,且构成了一个叠置型的古土壤。

### 参 考 文 献

1. 安徽省水利局勘测设计院、中国科学院南京土壤研究所. 安徽淮北平原土壤. 上海:上海人民出版社,1976
2. 张俊民. 山东省山地丘陵区土壤. 济南:山东科学技术出版社,1986
3. 刘良梧. 砂姜黑土形成的历史过程. 淮北地区水土资源开发与治理研究. 北京:科学出版社,1992. 136—145
4. 刘良梧,张 民. 变性土铁锰氧化物结核与钙质结核的元素富集及其环境意义. 土壤,1995,27(2):262—268
5. 王天中,赵清友,李令英. 砂姜黑土的形成过程及其分类. 土壤通报,1981,(6):38—40
6. 刘良梧. 变性土年龄研究. 土壤,1995,27(2):274—278
7. Liu Liang-wu. Formation and evolution of vertisols in Huaibei Plain. *Pedosphere*, 1991, 1(1):3—15
8. 施迪光,陈望和,倪明云. 河北平原第四纪古气候与海侵问题的初步探讨. 第四纪冰川与第四纪地质论文集,第一集. 北京:地质出版社,1984
9. 黎兴国. 从我国四不象鹿亚化石的时空分布看全新世气候变化特点. 第一次全国<sup>14</sup>C学术会议论文集. 北京:科学出版社,1984. 168—193

## LATE QUATERNARY PALEOSOLS OF THE HUANG-HUAI-HAI PLAIN

Liu Liang-wu

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

### Summary

Vertisols were proved in this work to be not modern soils but paleosols from the characteristics of genetic horizons in soil profile, soil ages and environmental changes in terms of pollen analysis, paleontologic fossils and radiocarbon dating. The paleosols have undergone 3 sedimentation-soil formation cycles since late Pleistocene, being weak in the degree of soil development. In fact, the paleosols found in the Huang-Huai-Hai Plain are a superimposed paleosol consisting of calcareous concretion soil horizon, dark soil horizon, topsoil horizon and / or warped horizon.

**Key words** Paleosols, <sup>14</sup>C age of soil, Environmental changes, Sedimentation-soil formation cycles