

植物物料的化学组成和腐解条件 对新形成腐殖质的影响

程励励 文启孝 吴顺令 徐宁

(中国科学院南京土壤研究所)

植物物料的某些化学组成成分与其腐解产物很相似,迄今还没有一种方法能够把两者清楚地分别开来。这为腐解过程的研究带来了很多困难。例如,已经证明,用碱液作为提取剂时,进入溶液的不仅有腐殖物质,而且也有植物物质^[6],因而所得到的样品不具有很好的代表性;另一方面,由于不能将植物物料与其腐解产物加以区分,甚至连单位重量的植物物料分解一定时期后生成了多少腐殖物质也不能较准确地知道,直到现今,人们仍不得不以残留碳量来作为估量不同植物物料对土壤有机质含量贡献大小的指标。

近年来广泛应用的超声波振荡——重液法^[6],为区分未分解及半分解的植物残体和腐殖物质提供了可能。通过超声波振荡可将土粒完全分散为原生颗粒,然后用重液可以将未分解或半分解的植物残体从土样中分离出来,重组中虽仍可能含有一些植物组织中的组成成分,但数量已不多,因而它应该更能代表腐解产物;另一方面,鉴于轻组中腐解产物的含量也较少,因此或许可以把重组中增多的有机质当作是植物残体生成的土壤腐殖物质多少的直接量度。

基于上述观点,在本工作中,我们用化学组成不同的几种植物物料,分别置于水田或旱地中腐解,然后测定其重组中有机质的含量和组成,企图了解植物物料的化学组成和腐解条件等对腐解产物的质和量的影响。

一、物料和方法

腐解试验 以紫云英、绿萍和稻草作为供试物料。样品经低温烘干、磨细过40孔筛。各供试物料的化学组成见表1。供试土壤为采自南京郊区的黄褐土底土(C:0.09%, N:0.032%)。植物物料的加入量为土重的8%(以干基计);加稻草的处理另加硫酸调节其C/N比值至25,并加适量的磷。将物料和土壤混匀后置砂滤管中(每个砂滤管中的物料和土壤皆分别称重、混匀)。然后将砂滤管埋入表土层中。试验于1979年6月开始,分旱地和水田两组,各处理重复三次。腐解开始后,按计划定期取出砂滤管中试样供分析用。

土样分级 于从砂滤管内取出的土样中,加入比重为1.8的杜列液(HgI_2+KI),振荡一小时后,离心,将土样分离为轻组与重组。轻组与重组均分别先用3%KI洗3—4次,

表 1 植物材料的化学组成成分
Table 1 Chemical composition of plant materials

| 供试物料 Material | C (%) | N (%) | C/N | 组成成分(占无灰干物%) Constituent (% of ash-free dry matter) | | | | | |
|-------------------|----------|----------|------|--|-------------------------------|----------------------------|------------------|---------------|-------------------------|
| | | | | 苯醇溶性物 Benzene Alc. sol. | 水溶性物 H ₂ O sol. | 半纤维素 Hemicel- lulose | 纤维素 Cellulose | 木质素 Lignin | 粗蛋白 Crude protein |
| 紫云英 Milk vetch | 43.0 | 3.18 | 13.5 | 16.2 | 27.1 | 8.10 | 16.9 | 8.24 | 13.1 |
| 绿萍 Azolla | 36.7 | 3.89 | 9.43 | 11.4 | 17.6 | 6.49 | 8.23 | 24.6 | 22.6 |
| 稻草 Rice straw | 43.2 | 0.89 | 48.5 | 4.03 | 13.1 | 28.3 | 28.3 | 10.7 | 5.16 |

以除去汞盐, 然后再用 95% 乙醇洗涤 3—4 次。直至溶液用 AgNO_3 检验无乳黄色 AgI 沉淀为止(此时重组中仍含微量碘, 但对定碳已无影响)。

分析方法 有机碳用丘林法测定。全氮用克氏法。六碳糖用蒽酮法; 五碳糖用醋酸—苯胺法^[2](土样分别用 $1N^{[2]}$ 和 $24N \text{H}_2\text{SO}_4$ 水解^[3])。腐殖质组成按下法测定: 先用 $0.1N$ 氢氧化钠与 $0.1M$ 焦磷酸钠混合液于 28°C 下浸提 16 小时, 离心, 残渣依次再用 $0.1N \text{NaOH}$ 和 $0.02N \text{NaOH}$ 各浸提 1 小时。合并上述各浸提液, 加酸调节 pH 至 1.5, 于 60°C 下保温 2 小时, 并放置过夜, 分离出胡敏酸和富里酸。将胡敏酸溶解在 $0.02N \text{NaHCO}_3$ 中, 调节碳含量为 0.136 毫克/毫升后, 在 721 型分光光度计上测定其光密度。

二、结果和讨论

(一) 植物材料的化学组成及腐解条件对新形成的腐殖质数量的影响

由表 2 可见, 同一物料, 水田条件下的残留碳量恒高于旱地条件下的; 在相同腐解条件下, 不同化学组成的植物材料, 其残留碳量各不相同。这和以前的结果是一致的^[3]。

表 2 腐解产物的残留碳量(碳, 克/克植物碳)
Table 2 Carbon of decomposing plant materials remained in soil
(C, g/g of added plant carbon)

| 物料 Material | 腐解时间(天) Duration of decomposition (days) | 水田 Under water-logged condition | 旱地 Under upland condition |
|-------------------|--|---------------------------------------|------------------------------|
| 紫云英 Milk vetch | 90 | 0.29 | 0.25 |
| | 180 | 0.28 | 0.24 |
| | 360 | 0.26 | 0.22 |
| 绿萍 Azolla | 90 | 0.74 | 0.52 |
| | 180 | 0.58 | 0.50 |
| | 360 | 0.54 | 0.44 |
| 稻草 Rice straw | 90 | 0.38 | 0.34 |
| | 180 | 0.36 | 0.34 |
| | 360 | 0.31 | 0.29 |

L. S. $D_{0.01} = 0.024$. L. S. $D_{0.05} = 0.018$.

土壤的总残留碳量既包括未分解和半分解的植物物料,又包括新形成的腐殖质。一些研究者认为,植物物料的化学组成与所生成的腐殖质数量之间没有什么关系。Jenkinson 报道^[7],在实验室培养试验中,黑麦草的地上部分和根的分解量在最初 35 天差异较大,但腐解 155 天时,两者的总分解量则相同。Allison 认为^[4],植物物质在开始分解后的 1—2 年内,其残留碳量受其化学组成的影响较大,此后,随着时间的推移,这种影响逐步减少以至消失。他还认为,上述残留碳量的差异,主要是由于未分解和半分解的植物残体含量不同所致。也就是说,不管植物物料的种类如何,它们所生成的腐殖质量基本上是相同的。

表 3 中列入了各处理的残留碳在轻组和重组中的分配。轻组中碳和重组中碳的总和和在绝大多数情况下均小于全土中总残留碳量,这可能是由于,除了测定本身引入的误差以外,在分级过程中有机物质有损失。损失的这部分有机物质既可能来自轻组,也可能来自重组。根据表 4 中有机氮的亏缺要比碳亏缺小得多的事实以及操作过程中所观察到的现象(洗涤液呈现颜色),可以认为,损失的这部分有机物质主要是可溶性的糖和色素类等。由表 3 可见,同一腐解条件下,不同化学组成的植物物料比较,残留碳量最多的绿萍,其轻组—碳所占的比重也最大;同一物料不同腐解条件比较,水田条件下残留碳量较多,其轻组—碳所占的比重也较大。这证明,不同植物物料在同一腐解条件下,或同一物料在不同腐解条件下,未分解和半分解的植物碳量不同确实是导致其残留碳量各异的一个重要因素。但是,即使将未分解和半分解的植物碳量撇开不计,不同处理重组中残留碳量的差异仍然是很显著的。从表 5 可以看出,在旱地条件下,紫云英、绿萍和稻草腐解一年后,其重组中的残留碳分别为 0.19, 0.36 和 0.25。可见,不同化学组成的植物物料在同一腐解条件下所形成的腐殖质数量是不一样的。

同一物料,水田条件下的残留碳量虽恒较早地条件下的为多,但这仅只证明水田条件下植物物质的分解速度较早地条件下慢,而并不意味着在此条件下形成的腐殖质的数量较多。由表 5 可以看到,在分解的最初阶段,旱地条件下新形成的腐殖质数量大多较水田

表 3 残留碳在轻组和重组中的分配 (%)

Table 3 Distribution of residual C in soil fractions

| 物 料 Material | 腐解时间(天) Duration of decomposition (days) | 旱 地 Under upland condition | | | 水 田 Under water-logged condition | | |
|----------------------|---|-------------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------------|
| | | 轻 组 LF* | 重 组 HF** | 亏 缺 Unaccounted for | 轻 组 LF* | 重 组 HF** | 亏 缺 Unaccounted for |
| 紫云英 Milk vetch | 90 | 3.47 | 87.23 | 9.30 | 15.20 | 63.43 | 21.37 |
| | 180 | 3.92 | 89.19 | 6.89 | 11.16 | 74.95 | 13.89 |
| | 360 | 1.03 | 87.84 | 11.13 | 9.09 | 82.81 | 8.10 |
| 绿 萍 Azolla | 90 | 23.26 | 71.05 | 5.69 | 57.87 | 43.52 | -1.39 |
| | 180 | 13.70 | 80.69 | 5.61 | 54.27 | 40.48 | 5.69 |
| | 360 | 10.68 | 80.91 | 8.41 | 41.51 | 49.10 | 9.39 |
| 稻 草 Rice straw | 90 | 7.03 | 88.29 | 4.68 | 13.81 | 76.09 | 10.1 |
| | 180 | 6.17 | 93.64 | 0.19 | 13.23 | 75.59 | 11.18 |
| | 360 | 4.80 | 84.16 | 11.04 | 8.22 | 79.63 | 12.15 |

* LF-Light fraction. ** HF-Heavy fraction.

表 4 残留氮在轻组和重组中的分配 (%)

Table 4 Distribution of residual N in soil fractions

| 物 料 Material | 腐解时间(天) Duration of decomposition (days) | 旱 地 Under upland condition | | | 水 田 Under water-logged condition | | |
|----------------------|---|-------------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------------|
| | | 轻 组 LF* | 重 组 HF** | 亏 缺 Unaccounted for | 轻 组 LF* | 重 组 HF** | 亏 缺 Unaccounted for |
| 紫云英 Milk vetch | 90 | 0.95 | 96.27 | 2.78 | 6.02 | 89.60 | 4.38 |
| | 180 | 1.06 | 97.74 | 1.20 | 3.26 | 95.28 | 1.46 |
| | 360 | — | — | — | 2.68 | 95.54 | 1.78 |
| 绿 萍 Azolla | 90 | 18.00 | 80.60 | 1.40 | 45.81 | 55.00 | -0.81 |
| | 180 | 9.92 | 90.70 | -0.62 | 42.66 | 54.89 | 2.45 |
| | 360 | 8.24 | 87.53 | 4.23 | 37.41 | 60.94 | 1.65 |
| 稻 草 Rice straw | 90 | 3.16 | 93.51 | 3.33 | 4.75 | 94.91 | 0.34 |
| | 180 | 2.52 | 92.94 | 4.54 | 4.65 | 98.48 | -3.13 |
| | 360 | 2.25 | 89.42 | 8.33 | 4.56 | 90.57 | 4.87 |

* LF-Light fraction. ** HF-Heavy fraction.

表 5 重组的残留碳量 (碳,克/克植物碳)

Table 5 Carbon content in heavy fractions (C,g/g. of added plant carbon)

| 物 料 Material | 腐解时间(天) Duration of decomposition (days) | 水 田 | 旱 地 |
|---------------------|--|------------------------------|------------------------|
| | | Under water-logged condition | Under upland condition |
| 紫 云 英 Milk vetch | 90 | 0.18 | 0.21 |
| | 180 | 0.21 | 0.22 |
| | 360 | 0.21 | 0.19 |
| 绿 萍 Azolla | 90 | 0.32 | 0.36 |
| | 180 | 0.23 | 0.40 |
| | 360 | 0.26 | 0.36 |
| 稻 草 Rice straw | 90 | 0.30 | 0.28 |
| | 180 | 0.27 | 0.30 |
| | 360 | 0.25 | 0.25 |

为高。腐解一年以后,对于分解较快的紫云英和稻草来说,旱地条件下腐殖质的生成量接近或略低于水田条件下的生成量。而对于象绿萍这样一类不易分解的植物物料来说,水田条件下腐解一年后,腐殖质的生成量虽仍显著低于旱地,但此时,水田条件下轻组残留碳的比重(41.5%)比旱地条件下(10.7%)要高得多,因而腐解条件对腐殖质形成量的影响如何并不能据此以定,尚有待于进一步地研究。

(二) 植物材料的化学组成及腐解条件对新形成的腐殖质性质的影响

C/N 比值是表征有机物质组成的指标之一。表 6 的结果表明,重组的 C/N 比值在 5.5—7.9 之间,它既低于植物物料的 C/N 比值,也小于一般土壤的 C/N 比值,重组中碱不溶性物质的 C/N 比值更低,仅在 4.9—6.4 间,这说明它们是微生物的新形成产物。与

表 6 腐解产物的 C/N
Table 6 C/N ratios of decomposing plant materials

| 物 料 Material | 腐解时间(天) Duration of decomposition (days) | 全 土 Soil | | 重 组 Heavy fraction | |
|---------------------|---|---|----------------------------------|---|----------------------------------|
| | | 水 田 Under water- logged condition | 旱 地 Under upland condition | 水 田 Under water- logged condition | 旱 地 Under upland condition |
| 紫 云 英 Milk vetch | 90 | 7.3 | 6.1 | 5.5 | 5.6 |
| | 180 | 7.3 | 6.4 | 6.0 | 6.0 |
| | 360 | 7.4 | 5.4 | 6.6 | 5.5 |
| 绿 萍 Azolla | 90 | 8.2 | 7.2 | 6.6 | 6.4 |
| | 180 | 8.6 | 7.3 | 6.5 | 6.6 |
| | 360 | 8.2 | 7.0 | 6.7 | 6.5 |
| 稻 草 Rice straw | 90 | 9.5 | 8.4 | 7.7 | 7.9 |
| | 180 | 9.0 | 7.5 | 7.2 | 7.5 |
| | 360 | 7.9 | 7.4 | 7.0 | 7.0 |

此同时,不同物料的腐解产物的 C/N 比值也呈现出一定的差异。C/N 比值大的稻草,其腐解产物的 C/N 比值也较紫云英、绿萍的腐解产物宽一些。

不同物料腐解产物中糖的含量亦因原始物料和腐解条件不同而异。无论腐解条件如何,也无论用 1N H₂SO₄ 或 24N H₂SO₄ 水解,糖的含量总是以稻草所形成的腐解产物中为最多,紫云英次之,绿萍最少;同一物料比较,则以水田条件下的腐解产物中的糖量(24NH₂SO₄ 水解)较高(表 7)。从各物料的腐解产物中糖的含量与原始物料中糖的含量大体上呈平行关系,以及同一物料的腐解产物在不同水解条件下释出的糖量来看,相当一部分糖系来自植物物料;六碳糖/五碳糖比值较低同样也表明这一点。已经知道,土壤中的五碳糖主要是植物来源的。

腐殖质组成分析表明(表 8),各植物物料所形成的腐殖质其提取率和 HA/FA 比值均是稻草>紫云英>绿萍。胡敏酸的光密度则与之相反,以绿萍所形成的光密度为最高,稻草最低,紫云英介于两者之间。

蔡道基等曾指出¹⁾,渍水条件下,稻草的腐解产物,其 HA/FA 比值较早地条件下者高,胡敏酸的光密度则较低。在我们所得到的结果中,稻草新形成的腐殖物质的组成和性质与上述结果一致。但紫云英和绿萍则与之相反,后二者在水田条件下形成的腐解产物的 HA/FA 比值较早地条件下者小,胡敏酸的光密度则较大。显然,不同植物物料在同一腐解条件下新形成的腐殖质的组成、性质也各不相同。Swift^[9]等也曾报道,在好气条件下,三叶草的地上部分腐解 60 周后所形成的胡敏酸,无论其盐基交换量,1720cm⁻¹、1610cm⁻¹、2920cm⁻¹ 波数处的光密度或全氮量和氨基酸的含量都和三叶草根、麦秆或麦根所形成的胡敏酸有所不同。

大量的资料表明,与同一地带的自然土或旱地土壤比较,水稻土的 HA/FA 比值一般常较高^[10]。造成这种现象的原因,看来,一种可能是,由于进入土壤中的植物物料均以稻草

1) 蔡道基、毛伯清, 1964: 外界条件对稻草腐解的影响(资料)。

表7 重组中的糖含量(腐解一年)

Table 7 Sugar content in heavy fractions (after 1 year decomposition)

| 物料 Material | 处理 Treatment | C% | 水解条件 Condition of hydrolysis | 六碳糖 Hexose | | 五碳糖 Pentose | | 总量 Sum | | 六碳糖/五碳糖 Hexose/Pentose |
|----------------|---------------------------------------|------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | | | | 微克/1克土 $\mu\text{g/g soil}$ | 占全C% % of total soil C | 微克/1克土 $\mu\text{g/g soil}$ | 占全C% % of total soil C | 微克/1克土 $\mu\text{g/g soil}$ | 占全C% % of total soil C | |
| 紫云英 | 旱地 Under upland condition | 0.83 | 1* | 1050 | 5.06 | 610 | 2.94 | 1660 | 8.00 | 1.72 |
| | | | 2** | 1530 | 7.37 | 790 | 3.80 | 2320 | 11.17 | 1.94 |
| Milk vetch | 水田 Under water-logged condition | 0.91 | 1 | 820 | 3.62 | 990 | 4.37 | 1810 | 7.99 | 0.83 |
| | | | 2 | 2190 | 9.66 | 1260 | 5.56 | 3450 | 15.22 | 1.73 |
| 绿萍 | 旱地 Under upland condition | 1.24 | 1 | 1465 | 4.72 | 560 | 1.81 | 2025 | 6.53 | 2.61 |
| | | | 2 | 1530 | 4.94 | 915 | 2.95 | 2445 | 7.89 | 1.67 |
| Azolla | 水田 Under water-logged condition | 0.94 | 1 | 700 | 2.99 | 360 | 1.54 | 1060 | 4.53 | 1.94 |
| | | | 2 | 1510 | 6.44 | 645 | 2.76 | 2155 | 9.20 | 2.34 |
| 稻草 | 旱地 Under upland condition | 1.03 | 1 | 1390 | 5.40 | 1810 | 7.03 | 3200 | 12.43 | 0.77 |
| | | | 2 | 2890 | 11.22 | 2190 | 8.50 | 5080 | 19.72 | 1.32 |
| Rice straw | 水田 Under water-logged condition | 1.03 | 1 | 1380 | 5.36 | 2450 | 9.51 | 3830 | 14.87 | 0.56 |
| | | | 2 | 3470 | 13.47 | 2450 | 9.52 | 5920 | 22.99 | 1.41 |

* 1. 1N H₂SO₄, 100°C 水解 8 小时。Hydrolyzed with 1N H₂SO₄ at 100°C for 8 hrs.** 2. 24N H₂SO₄ 室温水解 2 小时, 然后稀释成 1N H₂SO₄, 100°C 水解 5 小时。Hydrolyzed with 24N H₂SO₄ at room temp. for 2 hrs., then with 1N H₂SO₄ at 100°C for 5 hrs.

表 8 重组的腐殖质组成 (腐解一年)

Table 8 Fractional composition of newly-formed-humus from various plant materials (after 1 year decomposition)

| 处 理 Treatment | | C (%) | 占 全 C% % of total C in HF | | | HA/FA | E _a |
|---------------------|---|----------|------------------------------|-------------|----------------|-------|----------------|
| | | | 胡 敏 酸 HA | 富 里 酸 FA | 碱提取总量 Total | | |
| 紫 云 英 Milk vetch | 旱 地 Under upland condition | 0.83 | 11.5 | 20.0 | 31.5 | 0.57 | 0.60 |
| | 水 田 Under water- logged condition | 0.91 | 7.0 | 16.5 | 23.5 | 0.57 | 0.66 |
| 绿 萍 Azolla | 旱 地 Under upland condition | 1.24 | 8.3 | 17.3 | 25.6 | 0.48 | 0.97 |
| | 水 田 Under water- logged condition | 0.94 | 3.8 | 17.5 | 21.6 | 0.22 | 1.22 |
| 稻 草 Rice straw | 旱 地 Under upland condition | 1.03 | 14.1 | 22.0 | 36.0 | 0.64 | 0.51 |
| | 水 田 Under water- logged condition | 1.03 | 14.1 | 19.2 | 33.4 | 0.73 | 0.48 |

藁秆及其根系等一类物质为主。另一种可能是,与植物物料的种类无关,而主要是由于水田和旱地的腐解条件及其过程不同所致。虽然,乍看起来,上述资料并不支持后一种可能性,但是,如果考虑到新形成的腐殖质与土壤原有的腐殖质并不相同,它还必须经历一系列的变化,方可变成土壤中稳定的腐殖质,那么,可以设想,正是这后一过程,决定着土壤腐殖质组成的特点。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤. 299—310页. 科学出版社.
- [2] 文启孝、程励励, 1962: 土壤中五碳糖的比色测定法. 土壤学报, 第10卷2期, 220—225页.
- [3] 林心雄、程励励、施书莲、文启孝, 1980: 绿肥和藁秆等在苏南地区土壤中的分解特征. 土壤学报, 第17卷4期, 319—327页.
- [4] Allison, F. E., 1973: Soil organic matter and its role in crop production. *Developments in Soil Sci.*, Elsevier, Amsterdam, London, New York. 439—440.
- [5] Cheshire, M. V. and Mundie, C. M., 1966: The hydrolytic extraction of carbohydrates from soil by sulphuric acid. *J. Soil Sci.* 17: 371—381.
- [6] Greenland, D. J. and Ford, G. W., 1964: Separation of partially humified organic materials from soils by ultrasonic dispersion. *Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci.* III. 137—147.
- [7] Jenkinson, D. S., 1977: Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *J. Soil Sci.* 417—423.
- [8] Sauerbeck, D. and Führ, F., 1968: Alkali extraction and fractionation of labelled plant material before and after decomposition—A contribution to the technical problems in humification studies. *Isotopes and radiation in soil organic matter studies.* IAEA Vienna., 3—11.
- [9] Swift, R. S., Posner, A. M., 1977: Humification of plant materials: Properties of humic acid extracts. *Soil organic matter studies.* Vol. 1. (Proc. Symp. Braunschweig, 1976) IAEA, Vienna, 171—182.

THE EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION AND DECOMPOSITION CONDITIONS OF PLANT MATERIALS ON THE NEWLY FORMED HUMUS

Cheng Li-li Wen Qi-xiao* Wu Shun-ling and Xu Ning

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

Three kinds of plant materials, milk vetch, azolla and rice straw were mixed with a soil of negligible organic matter content and allowed to decompose in field under upland and waterlogged condition respectively. Samples of each plant material were taken at intervals over a period of one year and were partitioned into light and heavy fractions, observations made on the soil fractions obtained by this procedure included the determination of C, N content, sugar content and fractional humus composition. Results obtained are as follows:

1. Although the difference in % of C remained of plant materials with different chemical composition decomposing under the same environments or of the same plant materials decomposing under different environments was partly due to the difference in the amount of undecomposed or/and partially decomposed plant material, it was found that plant materials differed from each other in the amount of humus they formed after 1 year decomposition according to their chemical composition and the environmental conditions under which they decomposed.

2. The composition of the newly formed humus also varied with both the kind of plant material they derived from and the environmental conditions under which they decomposed. The sugar content of humus followed the order of rice straw > milk vetch > azolla which is also held for the original plant materials. The C/N ratio of the newly formed humus was much lower than that of the native soil humus, with that derived from rice straw the largest being 7.0, and that derived from milk vetch the smallest, being 5.5. The HA/FA of humus derived from rice straw was the highest, and that from azolla was the lowest, while the optical density (at 465 μm) of HA followed the reverse order. No regular difference in fractional humus composition between humus formed under waterlogged condition and that under upland conditions was found.

*Previously translated as Wen Chi-hsiao.