

# 瘠薄红壤中有机物质的分解特征

李忠佩, 林心雄

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:**通过田间定位试验观测, 研究了瘠薄红壤条件下主要有机物质的分解速率和过程特征及控制因素。结果表明: 瘠薄红壤中有机物质的分解速率较慢, 不同有机物质的腐殖化系数在  $0.28 \sim 0.64$  之间, 平均为  $0.45$ , 此值约比一般红壤高  $34\%$ ; 这与瘠薄红壤粘粒含量较高、酸度较大、原土有机质含量低有关。但在红壤地区导致有机物质分解速率差异的土壤性质诸因素中, 土壤酸度占主导地位, 其次是原土有机碳含量。瘠薄红壤中有机物质的分解速率在第 1 年比一般红壤中慢, 第 2 年反而分解较快, 其后这种差异逐渐缩小。瘠薄红壤条件下每  $100\text{kg}$  有机物质每年所能形成的土壤有机质量约在  $30\text{kg}$  左右。因此, 适当施用有机肥可以较快地增加瘠薄红壤的有机碳含量。

**关键词:**瘠薄红壤; 有机物质; 分解特征

## Characteristics of Organic Materials Decomposition in Infertile Red Soils

LI Zhong-Pei, LIN Xin-Xiong (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1224~1230.

**Abstract:** There is currently much interest in the dynamics of soil organic matter, which is closely related to sustainable agricultural development and global warming. The infertile red soils distributed widely in South China are important resources for agricultural exploitation in the future and can sequesterate potentially large amounts of atmospheric  $\text{CO}_2$ .

This paper deals with the rates, process characteristics and controlling factors of the decomposition of the representative organic materials in the infertile red soils by field decomposing experiment with carborundum tube method (paddy field) or nylon bag method (upland), and its result is hoped to be the key parameters for knowledge of infertile red soil organic matter dynamics and for assessment of potential of atmospheric  $\text{CO}_2$  sequestration.

The experimental results shows that in the infertile red soils, the humification coefficients of organic materials were rather high, ranging from  $0.28$  to  $0.64$  with an average of  $0.45$ . This is  $9\% \sim 58\%$  with an average of  $34\%$  higher than values in corresponding red soils with normal fertility. For the organic materials there was an order of humification coefficients with green manure ( $0.35$ )  $>$  crop straw ( $0.40$ )  $>$  rice roots and wheat roots or cow feces ( $0.45 \sim 0.64$ ). The effects of soil texture, soil acidity and native soil organic matter content were compared on the decomposition of rice straw and rice roots. The organic carbon of rice straw and rice roots remained after one year decomposition in the infertile red soil (clay content of  $37\%$  and derived from Tertiary red sandstone) were respectively  $49\%$  and  $22.7\%$  higher than for Quaternary red clay soil with  $8.1\%$  clay content. The organic carbon of rice straw and rice roots remained after one year decomposition in infertile red soil with  $5.7$  pH were  $57\%$  and  $22\%$  higher compared to those in the infertile red soil with pH of  $7.2$ . The native organic matter content decreased from  $8.2\text{g/kg}$  to  $3.7\text{g/kg}$  and  $1.8\text{g/kg}$  would increased the organic carbon of rice straw and rice roots

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(39899370-3)

收稿日期: 2001-09-24 万方数据 日期: 2001-11-05

作者简介: 李忠佩(1962~), 男, 广西临桂县, 硕士, 副研究员。主要从事土壤生物化学及土壤生态学研究。

remained after one year decomposition by 7% and 43%. Progressive regression treatment of the data indicated that the soil acidity would be the dominant factor affecting decomposition of organic materials, and next the native soil organic matter content. Compared to those in the corresponding normal red soils, the decomposition rates of organic materials in the infertile red soils were significantly lower in the first year, but higher in the second year, thereafter no significant difference was observed between the two kinds of soils. 30kg of soil organic matter could be annually formed by the decomposition of 100kg organic materials in infertile red soils, which was also higher than those in normal red soils with corresponding value of 20kg. Accordingly, it could be suggested that because of a low decomposition rate resulting from its high clay content, acidity, and low native organic matter content, the content of organic matter in the infertile red soils could be increased quickly through proper application of organic manure.

**Key words:** infertile red soils; organic materials; decomposition characteristics

文章编号:1000-0933(2002)08-1224-07 中图分类号:Q143 文献标识码:A

土壤有机碳库的动态变化与农业生态系统的稳定性及生产力的正常发挥有非常密切的关系,对调节大气 CO<sub>2</sub> 浓度也有显著作用,正因如此,长期以来其研究颇受人们重视,近年来更因全球气候变暖问题的凸现而成为热点。红壤地区的生物气候条件独特,土壤有机碳库在稳定和协调土壤环境和植物养分上的作用更加明显<sup>[1]</sup>;同时,本身所特有的粘、酸等理化性状及有机碳库量低的现实状况使得红壤在固持大气 CO<sub>2</sub> 上可能具有更大的潜力。因此,研究红壤有机碳库的动态变化,将可为制定保持农业持续发展的有机物质分配和利用的合理措施,正确评估红壤作为大气 CO<sub>2</sub> 的源汇功能提供科学依据。

土壤有机碳库的动态变化主要是取决于有机物质输入量和输出量的相对大小,尤其与有机物质在土壤中的分解转化有密切关系。影响有机物质在土壤中分解转化的因素很多,土壤学家对此进行了较多的研究,已经明确土壤温度、水分含量、质地和有机物质的化学组成等是主要的影响因素,并已获得一些具体的有关参数<sup>[2~5]</sup>。但以往的大多数研究,都是在相对正常的状态下进行的,象瘠薄红壤这样的逆境条件,有机物质的分解速率及过程特征如何,目前尚不十分明确。而这类红壤,正是本区未来农业发展的重点和固持大气 CO<sub>2</sub> 最具潜力之所在。本研究主要是通过田间试验了解瘠薄红壤条件下有机物质的分解速率和过程特征及控制因素,研究结果将可为阐明瘠薄红壤有机碳库的积累过程和动态变化提供重要参数。

1 材料与方法

1.1 供试有机物质及土壤

供试有机物质包括猪牛粪、稻麦秆、稻麦根、绿肥等,代表了红壤区农田生态系统中主要的有机物质类型。猪牛粪收集后立即晒干。稻麦秆和稻麦根于作物收获后收集。绿肥(萝卜菜、紫云英)在盛花期时平地收割,杀青后低温烘干。

所有有机物质均经 50℃ 低温烘干,磨细过 40 目筛,以备田间试验和化学分析用。

供试土壤采自红壤地区,包括不同的肥力水平、粘粒含量、酸度等的样品。土壤样品风干,磨细过 20 目,以备田间腐解试验用。各试验目的供试土壤的基本理化性状见表 1。

1.2 田间腐解试验

试验在江西省鹰潭市和浙江省兰溪市的水田和旱地土壤上进行。两地均处中亚热带,江西省鹰潭市的年均温 17.6℃,年降雨量 1795mm,年蒸发量 1318mm,降雨集中于每年的 3~6 月份,无霜期 261d;浙江省兰溪市的年均温 17.3℃,年降雨量 1599mm,年蒸发量 1009mm。

腐解试验用尼龙袋法(旱地)或砂滤管法(水田)<sup>[6,7]</sup>。有机物质的加量为 4%。称取相当于 100g 烘干重的风干土与相当于 4g 烘干重的物质,充分混匀后装入尼龙袋或砂滤管内并封口,然后将尼龙袋或砂滤管埋入田间表土下 5~10cm 处(土壤亦为低肥力水平)。腐解 0.5、1、2、6a 后,按计划取出各处理砂滤管,每次取样每一处理重复 3 次,管内样品经低温烘干、磨细后,供分析用。

有机物质的分解速率以有机物质碳的残留量(%)或腐殖化系数表示,腐殖化系数指单位重量的有机

物质碳在土壤中分解 1a 后的残留量。

表 1 供试红壤的基本理化性状

Table 1 Some physical and chemical properties of the red soils used					
试验目的 Objectives of the experiments	母质 Parent Materials	有机碳 (g · kg <sup>-1</sup> ) Org. C	pH	粘 粒 (<0.002mm) (g · kg <sup>-1</sup> )Clay content	
主要有有机物质的腐殖化系数及分解过程 Humification coefficients and decomposition process of the materials	第四纪红色粘土 Quaternary red clay	2.6	4.4	353	
土壤质地的影响 Influence of soil texture	第四纪红色粘土(Q4) Quaternary red clay	7.27	5.2	370	
	第三纪红砂岩风化物(T) Tertiary red sandstone	4.87	6.3	81	
	1/2 Q4+1/2 T	6.07	5.8	225	
土壤酸度的影响 Influence of soil acidity	紫色砂页岩 Purple arenaceous shale	6.02	7.2	201	
	第三纪红砂岩风化物向第四纪 红色粘土过渡类型 Intergrade of Tertiary red sandstone and Quaternary red clay	6.08	5.7	226	
原土有机碳含量的影响 Influence of native soil organic matter content	第四纪红色粘土 Quaternary red clay	1.8~8.2	4.5~5.1	379 ~ 412	

1.3 测定方法

土壤和有机物质中的有机碳用丘林法<sup>[6]</sup>,粘粒含量用吸管法,土壤 pH 用电位计法<sup>[8]</sup>。

2 结果与分析

2.1 有机物质在瘠薄红壤中的分解速率

供试土壤的主要理化性质如粘粒和有机碳含量、pH 值等代表了本区重度侵蚀劣地的土壤水平<sup>[9]</sup>,与本区较大面积的低肥力红壤部分相近<sup>[10]</sup>。田间腐解试验结果表明(表 2),瘠薄红壤中不同有机物质的腐殖化系数为 0.28 ~ 0.64,平均为 0.45,与一般肥力水平红壤上所获得的结果相比较<sup>[11~13]</sup>,其值高 9%~58%,平均高 34%;与其它地区相比,瘠薄红壤中有机物质的腐殖化系数更显著地高于华北、江南、华南地区,而与东北地区的测定值相近<sup>[14]</sup>。此外,瘠薄红壤中不同有机物质的腐殖化系数也各不相同,绿肥等分解速率最快,腐殖化系数平均为 0.35;秸秆类物质次之,腐殖化系数约为 0.40;而稻麦根以及牛粪等分解最慢,腐殖化系数可达 0.45~0.64。

表 2 瘠薄红壤中有机物质的腐殖化系数

Table 2 Humification coefficients of organic materials in infertile red soil							
物料 Organic materials	有机碳 (g · kg <sup>-1</sup> ) Org. C	全 N(g · kg <sup>-1</sup> ) Total N	C/N	浙江省兰溪市		江西省鹰潭市	
				Lanxi City, Zhejiang Province		Yingtan City, Jiangxi Province	
				旱地 Upland	水田 Waterlogged	旱地 Upland	水田 Waterlogged
牛粪 Cow feces	404.1	18.82	21.5	0.45	0.64	0.45	0.59
猪粪 Pig feces	368.4	24.36	15.1	0.43	0.52	0.38	0.43
萝卜菜 Raphanus	429.6	23.41	18.4	—	—	0.28	—
油菜秆 Rape straw	467.4	5.22	89.5	0.34	0.41	0.38	0.40
紫云英 Astragalus	440.2	30.82	14.3	0.36	0.43	0.35	0.34
稻秆 Rice straw	432.4	10.89	39.7	0.46	0.43	0.46	0.46
麦秆 Wheat Straw	457.5	6.12	74.8	0.38	0.39	0.33	0.37
稻根 Rice roots	306.2	8.38	36.5	0.53	0.58	0.63	0.57
麦根 Wheat roots	329.6	6.34	52.1	0.46	—	0.53	0.56
平均 Mean				0.43	0.49	0.42	0.47

2.2 瘠薄红壤中有机物质分解的因素分析

瘠薄红壤以粘、酸、瘠为主要特点<sup>[15]</sup>,这些方面都直接影响微生物的活动,成为有机物质在其中分解的

主要控制因素。

2.2.1 土壤质地 采用不同粘粒含量土壤进行的试验结果表明,粘粒含量高,土壤中有机物质的分解速率常较缓慢。图 1 示出不同质地红壤中有机物质碳的残留量,供试土壤分别采自发育于第三纪红砂岩风化物(T),第四纪红色粘土(Q4)的红壤,其粘粒(<0.001mm)含量分别为  $81\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $370\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;另一供试土壤采用  $1/2\text{ T}+1/2\text{ Q4}$ ,其粘粒含量为  $225\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。结果表明,与第三纪红砂岩风化物发育红壤中相比,第四纪红色粘土发育红壤中稻草碳的残留量约高 49%,稻根约高 22.7%;其腐殖化系数均相差约 0.1。粘粒含量居中的土壤中,有机物质碳的残留量也处于二者之间。

不同质地对有机物质分解的影响主要是因为粘粒的保护作用<sup>[16,17]</sup>,因为有机物质与粘粒结合后可大大增强稳定性和抵抗微生物分解的能力<sup>[18,19]</sup>。此外,粘粒含量差异还影响土壤的水气状况和微生物活性。在旱地红壤条件下,粘粒含量高的土壤,其孔隙度较小,通气状况也较差<sup>[20]</sup>,从而也会减缓有机物质的分解速率。

2.2.2 土壤酸度 比较粘粒含量相近,而土壤 pH 有明显差异的 2 种土壤中有机物质碳残留量的结果可知(图 2),与 pH 为 7.2 的土壤中相比,稻草和稻根的碳在 pH 为 5.7 的土壤中分解 1a 的残留量分别高 57%和 22%。另外,采用 pH 为 5.2、第四纪红粘土发育的红壤,当加入土重 1%的白云石粉调节 pH 后(接近中性),有机物质的分解明显加快,分解 0.5a 或 1a 后稻草碳的残留量均较未加白云石粉处理的低 10%左右。

土壤酸度较低对有机物质分解的影响主要是限制了微生物生长,另外,在酸性土壤中真菌的生长常占显著优势,有机物质的分解受到抑制。但微生物组成变化与有机物质分解之间的明确关系目前尚不清楚。

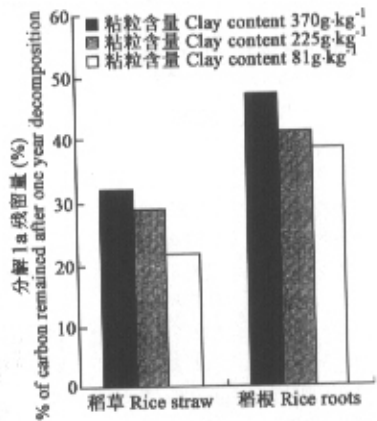


图 1 粘粒含量对有机物质分解的影响  
(旱地条件,江西鹰潭)

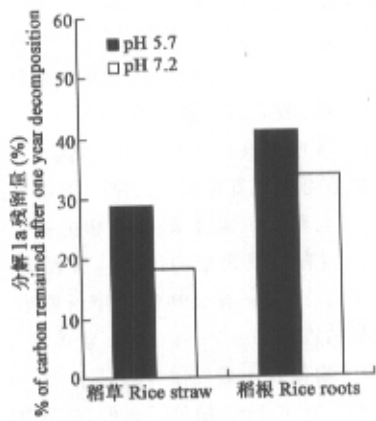


图 2 土壤酸度对有机物质分解的影响  
(旱地条件,江西鹰潭)

Fig. 1 The effect of clay content on the decomposition of organic materials  
(Upland condition, Yingtan, Jiangxi Province)

Fig. 2 The effect of soil acidity on decomposition of organic materials  
(Upland condition, Yingtan, Jiangxi Province)

2.2.3 原土有机质含量 采用不同有机碳含量土壤进行的试验结果表明(表 3),原土有机碳含量愈低,稻草碳的残留量愈高。例如,有机碳含量为  $3.7\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的红壤中,稻草碳分解一年的残留量较之有机碳含量为  $8.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的红壤中要增加 7%,有机碳含量为  $1.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的则较之增加得更为明显,达 43%。统计结果表明,稻草碳残留量与原土有机质含量呈显著负相关( $r=-0.8795, n=4$ )。方差分析表明,不同有机碳含量红壤中稻草碳的残留量达到极显著差异( $p<0.01$ )。

2.3 瘠薄红壤中有机物质分解的过程特征

结果表明(表 4),瘠薄红壤中有机物质的分解以第 1 年最快,以后逐渐变慢,逐年间的这种分解趋势与一般红壤条件下相类似。瘠薄红壤中有机物质第 1 年的分解速率达 44.7 %~ 68.8%,平均为 56.0%;第 2 年为 6.0%~ 15.5%,平均为 10.4%;以后逐年减少,第 3 年~ 第 6 年保持在每年 2.20%~4.98%,平均为 3.85%。一般红壤中第 1 年的分解速率为 74%,第 2 年为 7%,以后基本保持在每年 1%~2%。Jenkinson 等用<sup>14</sup>C 标记黑麦草进行的田间试验结果表明<sup>[3,21,22]</sup>,第 1 年的分解速率为 67%,第 2 年~第 4 年和第 5 年~第 10 年的年平均分解速率分别为 4.3%和 1.3%。可见,有机物质在瘠薄红壤和一般红壤中分解速率变化的差异,主要表现在分解的最初两年,第 1 年有机物质在瘠薄红壤中的分解速率比一般红壤中慢 10%~20%,而第 2 年却快 5%~10%,第 3 年以后,有机物质在不同土壤中的分解速率无明显差异。一般情况下,除较难分解的植物残体外,分解 1a 后未分解和半分解的植物残体量一般已很少,而在瘠薄红壤中,有机物质经 1a 的分解后,大都留存肉眼可见的残体碎屑,因此,在第 2 年仍保持较高的分解速率。

2.4 瘠薄红壤中土壤有机质的年形成量

有机物质对土壤有机质的贡献除决定于其腐殖化系数外,还与其有机碳含量有关。根据有机物质的腐殖化系数和有机碳含量的计算结果表明(表 5),红壤条件下每 100 kg 有机物质每年所能形成的土壤有机质量约在 20 ~ 30 kg 左右,除牛粪、麦根和麦秆外,其它物质在一般红壤条件下为 20 kg,在瘠薄红壤条件下为 30 kg。结果还表明,尽管作物的地下部分比地上部分腐殖化系数高,但由于地上部分的有机碳含量较地下部分高,因此每 100 kg 有机物质所能形成的土壤有机质量差异较小。

3 讨论与结论

有机物质在土壤中的分解受多种因素的制约,包括气候条件、土壤性质、物质本身的化学组成等<sup>[23,24]</sup>,凡是影响微生物活动的因素都会对物质的分解产生影响。在以往的许多文献资料中<sup>[15]</sup>,大多认为由于红壤地区的水热条件优越,因此红壤中有机物质的分解速率较其它地区为快。然而,从目前已有的研究结果进行比较可以看出<sup>[5,11~14,25,26]</sup>,即便从东北到华南这样大跨度的气候条件下,土壤性质在影响有机物质分解的诸因素中仍占据主导地位;本项研究的结果更表明,在瘠薄红壤条件下,土壤性质对有机物质分解有重要作用。可以比较肯定地说,红壤地区的土壤质地粘重、酸度较高,有机物质在其中的分解速率较慢。旱地红壤长期以来保持较低的含量水平不是因为土壤有机质的分解速率较快,而主要是因为侵蚀严重和有机物质的进入<sup>[10]</sup>。而水田土壤条件下,随着生产水平的不断提高,土壤有机质含量可以比其它地区有更大幅度的增加<sup>[10]</sup>,这从一个方面说明了这种可能性。

表 3 原土有机碳含量对有机物质分解的影响(江西鹰潭,旱地条件)

Table 3 Influence of the native soil organic carbon content on the decomposition of rice straw (Upland condition, Yingtan, Jiangxi Province)

样品 编号	原土有 机碳 No.(g · kg <sup>-1</sup> ) of the samples	pH	粘粒 (<0.002mm) 含量 (g · kg <sup>-1</sup> ) Clay content	稻草碳残留量(%)	
				% of rice straw carbon remained	
				0.5a 后	1a 后
				After half year	After one year
1	1.8	4.5	392	76.3±1.00	48.2±1.45
2	3.7	4.8	379	61.1±0.33	36.2±0.33
3	7.9	5.1	410	61.0±0.41	30.8±1.67
4	8.2	4.6	412	60.5±0.41	33.7±0.88

表 4 瘠薄红壤中有机物质分解的过程特征(江西鹰潭,水田条件)

Table 4 Processing characteristics of organic materials decomposition in infertile red soil (Waterlogged condition, Yingtan, Jiangxi Province)

物料 Organic Materials	物质有机碳残留量(%)		
	% of the carbon of organic materials remained		
	分解 1a 后 After one year	分解 2a 后 After two years	分解 6a 后 After six years
牛粪 <sup>1)</sup>	52.6±0.60	38.7±1.79	18.8±1.56
猪粪 <sup>2)</sup>	45.0±1.01	35.5±1.42	18.8±3.06
人粪 <sup>3)</sup>	33.3±0.40	27.2±1.35	15.3±0.91
萝卜菜 <sup>4)</sup>	31.2±0.35	24.9±2.21	16.1±2.01
油菜秆 <sup>5)</sup>	48.3±0.35	35.3±1.42	16.2±1.27
花生藤 <sup>6)</sup>	40.8±0.98	34.8±2.05	17.2±0.60
紫云英 <sup>7)</sup>	39.6±0.35	28.2±1.15	17.6±1.49
稻秆 <sup>8)</sup>	39.9±0.60	31.8±1.04	17.4±0.78
麦秆 <sup>9)</sup>	44.8±1.10	32.8±1.44	17.7±0.86
稻根 <sup>10)</sup>	55.3±1.23	42.2±1.72	23.8±1.96
麦根 <sup>11)</sup>	53.1±0.80	37.6±1.63	20.7±0.87
平均 <sup>12)</sup>	44.0±7.93	33.5±5.23	18.1±2.40

1) Cow feces; 2) Pig feces; 3) Peanut vine; 4) Raphanus;  
5) Rape straw; 6) Human feces; 7) Astragalus; 8) Rice  
straw; 9) Wheat Straw; 10) Rice roots; 11) Wheat roots;  
12) Mean



影响有机物质分解的土壤性质也包括诸多方面,如土壤质地、土壤酸度、原土有机质含量、粘土矿物类型等。在田间条件下,有机物质的分解往往是诸因素综合作用的结果,实际上在试验过程中,不可能找到单因素的试验条件。但是,诸多土壤性质因素中,到底哪个将起主导作用呢,根据表 3 和图 1 的结果,采用逐步回归法选择对有机物质分解速率有显著关系的自变量,回归方程为:  $Y = 92.954 - 1.523X_1 - 9.883X_2$ ,  $R = 0.958$ ,  $p = 0.007$ ; 标准回归方程为:  $Y' = -0.443X_1 - 0.798X_2$ , 式中,  $Y$  代表有机物质(稻草)的腐殖化系数,  $X_1$  代表原土有机碳含量,  $X_2$  代表土壤 pH 值。由标准回归方程的偏回归系数可见,在红壤条件下,导致有机物质分解速率差异的诸多土壤性质因素中,酸度占据主导地位,是影响有机物质分解的最主要因素,其次是原土有机碳含量。以往的研究认为<sup>[3]</sup>,土壤 pH 低于 4 才会对有机物质的分解产生显著影响,然而,从我们的研究结果可以看出,土壤 pH 低于 6 即会抑制有机物质的分解;在红壤条件下,土壤酸度更成为有机物质分解的主要控制因素,因此,改良酸度应该是提高红壤碳循环水平和养分有效性的重要措施。

原土有机碳含量对有机物质的分解有显著影响。这种影响可能包括两方面,一是养分供应,另一方面是碳的饱和度问题。在原土有机碳含量很低的情况下,养分的供应能力极差,严重影响微生物的活动;另外,当原土有机碳含量很低时,碳库的饱和度低<sup>[16,19]</sup>,粘粒对有机碳的保护能力很强,从而大大增强有机物质的抗分解能力。但是,粘粒的这种保护能力只在分解的头两年明显,分解第 3 年后,这种保护能力便大大减弱了。

对照一般红壤中有机物质分解速率的结果可知,木质素含量高的物质(牛粪、稻麦根等)在两种红壤中的腐殖化系数相近,约为 0.50 ~ 0.55,而木质素含量低的物质,在瘠薄红壤中的腐殖化系数约比一般红壤中高 60%。它表明,木质素含量高的物质在红壤中的分解,由于木质素含量的影响部分地掩盖了土壤性质的影响;而木质素含量低的物质在红壤中的分解,土壤性质将是主要的影响因子。

总之,瘠薄红壤中有机物质的分解速率较慢,从另一方面来说,在同等施肥条件下,瘠薄红壤中有机碳有较快的积累,这一点,在考虑土壤作为大气 CO<sub>2</sub> 汇的功能上有积极意义。通过瘠薄红壤的改良,能够固持较多的大气 CO<sub>2</sub>,在减缓大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加上可能会发挥更大的作用<sup>[28]</sup>。但是,由于红壤性质的多样性,红壤中有机碳库的积累的影响因素十分复杂,变异巨大,要正确评估红壤作为 CO<sub>2</sub> 汇的功能,还需要进行更多的研究工作。

参考文献

[1] Wen Q X (文启孝), Lin X X (林心雄). The content and characteristics of soil organic matter in red soil region. In: Li Q K (李庆逵) ed. *Red Soils of China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 119~127.

[2] Amato M, Ladd J N and Ellington A, *et al.* Decomposition of plant material in Australian soils IV. Decomposition in situ of <sup>14</sup>C- and <sup>15</sup>N-Labelled legume and wheat materials in a range of southern Australian soils. *Austr. J. Soil Res.*, 1987, **25**: 95~106.

[3] Jenkinson D S. Studies on the decomposition of plant materials in soils V. The effects of plant cover and soil type on the loss of C from <sup>14</sup>C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *J. Soil Sci.*, 1977, **28**: 424~434.

[4] Parton W J, Schimel D S, Cole C V, *et al.* Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, **51**: 1173~1179.

[5] Lin X X (林心雄), Wen Q X (文启孝), Cheng L L (程励励), *et al.* Studies on factors determining the decomposition of plant residues in soils. *Acta Pedologica Sinica* (in Chinese) (土壤学报), 1995, **32**(Supple. 2):

表 5 红壤中每 100 kg 物质每年所能形成的土壤有机质量(kg)

Table 5 Amount (kg) of soil organic matter formed annually from the decomposition of 100kg organic materials

物料 Organic materials	一般红壤* Normal red soils	瘠薄红壤 Infertile red soils
牛粪 Cow feces	33.6±1.24(3)	33.0±4.98(5)
猪粪 Pig feces	20.3(1)	28.8±3.28(5)
稻根 Rice roots	22.2±2.11(5)	30.1±2.11(5)
麦根 Wheat roots	28.4(1)	29.5±2.27(4)
稻秆 Rice straw	20.7±3.70(12)	32.5±2.96(7)
麦秆 Wheat straw	28.1(1)	30.5±3.21(5)
紫云英 Astragalus	17.7±2.21(5)	28.0±2.95(5)
平均 Mean	24.4	30.3

\* 根据文献[11~14]结果计算 Results in the column were calculated from the data in literature 11~14  
\* \* 括号中数字为统计样本数 The data in parenthesis were the number of samples for statistics

41~48.

- [6] Wen Q X (文启孝) ed. Study Methods of Soil Organic Matter(in Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1984. 318.
- [7] Lin X X (林心雄), Wu S L (吴顺龄), Che Y P (车玉萍). Method of nylon bag for measuring decomposition rate of organic materials in arid and semi-arid and humid region. *Soils*(in Chinese) (土壤), 1992, **24**(6): 315~318.
- [8] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所) ed. *Physical and Chemical Analysis of Soils*(in Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1978. 593.
- [9] Yang Y S (杨艳生), Shi D M (史德明), Lu X X ( 喜玺), *et al.* A study on the basic properties of eroded sterile soils. In: Wang M Z (王明珠), Zhang T L (张桃林), He Y Q (何园球) eds. *Research on Red Soil Ecosystem*(2<sup>nd</sup> Volume)(in Chinese). Nanchang: Jinagxi Science and Technology Publishing House, 1993. 291~302.
- [10] Administration Bureau of Land, Soil Survey Staff Office of Jiangxi Province (江西省土地管理局、江西省土壤普查办公室) ed. *Soils of Jiangxi Province* (in Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 1991. 588.
- [11] Zu S X (祖守先), Yin D M (尹道明), Xie F G (谢凤根), *et al.* The decomposition rates and humification coefficients of organic materials in orchard red soil in Siming mountain area of eastern Zhejiang Province. *Zhejiang Agricultural Sciences*(in Chinese) (浙江农业科学), 1990, **3**: 139~143.
- [12] Peng K L (彭科林), Yi F Y (易凤银). Decomposition and nutrient-supplying characteristics of green manures in citrus orchard soil. *Hunan Agricultural Sciences*(in Chinese) (湖南农业科学), 1989, **6**: 44~46.
- [13] Lin M H (林明海), Li J B (黎娟冰), Xiong G G (熊国根). Transformation of organic material and its effectiveness for improving soil fertility in upland red soil. *Soils and Fertilizers*(in Chinese) (土壤肥料), 1986, **4**: 19~24.
- [14] Lin X X (林心雄), Wen Q X (文启孝). Effects of straw management on soil fertility. In: Soil Science Society of China (中国土壤学会) ed. *Soil Science in China: Present and Future*(in Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1991. 122~131.
- [15] Li Q K (李庆远) ed. *Red Soils of China*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 259.
- [16] Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt. *Plant and Soil*, 1997, **191**: 77~87.
- [17] Pink L A and Allison F E. Maintenance of soil organic matter III. Influence of green manures on the release of native soil carbon. *Soil Sci.*, 1951, **71**: 67~75.
- [18] Theng B K G ed. Formation and properties of clay-polymer complexes. Elsevier, Amsterdam, 1979. 362.
- [19] Hassink J. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, **60**: 487~491.
- [20] Xu X Y (许绣云), Yao X L (姚贤良). Some physical properties of soils at Red Soil Ecological Experiment Station. In: Shi H (石华) ed. *Research on Red Soil Ecosystem* (1<sup>st</sup> Volume)(in Chinese). Beijing: Science Press, 1992. 93~101.
- [21] Jenkinson D S. Studies on the decomposition of plant material in soil. I. Losses of carbon from <sup>14</sup>C-Labelled ryegrass incubated with soil in the field. *J. Soil Sci.*, 1965, **16**: 104~115
- [22] Jenkinson D S and Rayner J H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.*, 1977, **123**(5): 298~305
- [23] Stevensen F J ed. *Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. John Wiley & Sons. 1986. 1~44.
- [24] Jenkinson D S. Soil organic matter and its dynamics. In: Wild A. ed. *Russell's Soil conditions & plant growth* (11<sup>th</sup> edition). Longman Scientific & Technical, 1988. 564~607.
- [25] Xu X C, Zhang J H, Tong G L, *et al.* Calculating by approximate method the amount of organic manure required to increase soil fertility. In: Soil Science Society of China. ed. *Current Progress in Soil Research in People's Republic of China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 189~196.
- [26] Che Y P (车玉萍), Li X X (林心雄). Decomposition and accumulation of organic matter in Chao soil. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*(in Chinese) (核农学报), 1995, **9**(2): 95~101.
- [27] Li Z P (李忠佩). Changes in soil organic carbon pool. In: Zhang T L (张桃林) ed. *Mechanism and Control of Red Soil Degradation*( in China). Beijing: China Agriculture Press, 1999. 73~75.
- [28] Zhao Q G (赵其国), Li Z (李忠). Emission and mitigation potential of CO<sub>2</sub> in the tropical and subtropical regions of China. *Acta Pedologica Sinica*(in Chinese) (土壤学报), 1995, **32**(Supple. 2): 117~127.