

# 施肥条件下瘠薄红壤的生物化学性状变化

李忠佩 焦坤 林心雄 程励励

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘要** 在中国科学院红壤生态开放实验站布置田间长期定位试验,研究施肥条件下瘠薄红壤的肥力恢复特征,本文报道土壤生物化学性状的变化。结果表明,年施有机物料 4500~9000kg/hm<sup>2</sup>时,5年后不同瘠薄红壤的表土有机 C 含量可提高 2.1~7.5g/kg,全 N 含量提高 0.18~0.71g/kg;而单施化肥的处理土壤有机 C 含量平均仅提高 2.0g/kg,全 N 含量提高 0.22g/kg。在施用较高量有机肥的情况下(9000 kg/hm<sup>2</sup>),5年后表土有机 C 含量从原来的 1.3~3.0g/kg 提高到 7.0~9.7g/kg,全 N 含量从原来的 0.34~0.41g/kg 提高到 0.70~1.05g/kg,该值已接近一般旱地红壤的含量水平。积累量也因母质、利用方式、施肥量的不同而异。施用有机肥还明显增加大团聚体中有机 C 的含量和比例,提高土壤酶活性和微生物数量,对改善养分有效性和土壤有机质品质有显著作用。

**关键词** 瘠薄红壤;施肥;生物化学性状

**中图分类号** S153.6

分布于我国热带亚热带地区低丘岗地上的瘠薄红壤,是长期以来人为不合理利用的结果,酸、粘、板、瘠、旱是其主要的肥力特征<sup>[1,2]</sup>,但由于其分布的地形部位地表起伏和缓、自然及水源条件好,恢复利用的可能性大,是近期农业开发的重点<sup>[3]</sup>。我们从 1988 年以来,在中国科学院红壤生态实验站开展长期田间定位试验,研究施肥条件下瘠薄红壤的肥力恢复特征,本文主要报道土壤生物化学性状的变化,结果可为制订合理的保持区域农业持续发展的管理措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设置在中国科学院红壤生态实验站。该站地处中亚热带,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,无霜期 261 天,属亚热带季风气候区。

### 1.2 田间微区试验

在中国科学院红壤生态实验站设置微区试验,通过严格的条件控制,比较不同母质发育的瘠薄红壤上,不同利用方式、不同施肥种类、不同施肥水平条件下土壤生物化学性状的变化特征。微区的面积为 1m<sup>2</sup>(1m×1m),每一微区用砖石砌成的壁与周围的土壤分开。壁高 65cm,露出地表 15 cm,深入地下 50cm。微区内 0~50cm 段的土壤已先移去,然后按计划将各供试土壤按表土、亚表土分层置入微区内。供试土壤的理化性状及试验处理的设置见表 1、2。在每季作物栽种前,按计划施入肥料。田间管理与大田条件下相同。试验于 1988 年秋季布置,一定时间后,采取表层 0~20cm 土壤样品(团聚体分析采原状土壤,其它分析采混合样),部分样品保持新鲜状态以供微生物测定,其它样品风干、仔细挑除残根、并经相应处理后供化学分析。

表 1 供试红壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of infertile red soils tested

母质类型	pH	粘粒含量(<0.002mm) (g/kg)	C (g/kg)	N (g/kg)	C/N
第三纪红砂岩风化物	4.87	20.0	5.10	0.48	10.6
第四纪红色粘土	4.55	39.8	3.28	0.43	7.6
试验区原土	4.72	39.2	1.12	0.34	3.3

表 2 试验处理

Table 2 Treatments in the experiment

轮作制	施肥处理	肥料用量 (kg/(hm <sup>2</sup> ·季))
	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>
旱作 (大麦 - 小米)	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 猪粪 1	N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> + 猪粪 2250
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub>
水旱轮作 (大麦 - 中稻)	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 猪粪 1	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> + 猪粪 2250
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 猪粪 2	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> + 猪粪 4500
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 稻草 1	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> + 稻草 2250
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 稻草 2	N <sub>120</sub> P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> + 稻草 4500

### 1.3 测定方法

采用湿筛法测定土壤团聚体<sup>[4]</sup>，并收集各级团聚体样品供测定有机 C 含量用。

腐殖质组成采用根据丘林法改进的快速法测定，并按 Kononova 的方法分离测定胡敏酸的光密度<sup>[5]</sup>。

转化酶用 3, 5 二硝基水杨酸比色法，脲酶用 Hoffmann G 与 Teicher K 法 (1961 年)，酸性磷酸酶用 Hoffmann G 法 (1967 年) 测定<sup>[6]</sup>。

微生物数量采用稀释平板法测定<sup>[7]</sup>，通过接种到不同的培养基上，并在 28±1 下培养、计数，确定细菌、真菌、放线菌的数量，培养细菌的培养基为营养琼脂培养基，真菌为马丁培养基，放线菌为高氏 1 号培养基。

土壤有机 C 用丘林法，全 N 用半微量克氏法测定<sup>[5]</sup>。粘粒含量用吸管法，土壤 pH 用电位计法<sup>[8]</sup>。活性 Fe、Al 的测定采用草酸-草酸铵 (pH 3.2) 提取，邻啡罗啉法比色测 Fe，EDTA 取代容量法测 Al<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤有机 C、全 N 积累量

导致红壤有机质含量变化的原因十分复杂，但

总的来说，主要是取决于有机物质输入量和输出量的相对大小，与有机物料在土壤中的分解转化也有密切关系。瘠薄红壤条件下，由于土壤性质对有机物料分解的显著抑制作用<sup>[9]</sup>，土壤有机 C 和全 N 的积累量明显高于一般红壤条件，同时，瘠薄红壤中有机 C 的积累量也因有机物质的输入量、土壤性质等条件的不同而异 (表 3)。年施有机物料 4500~9000 kg/hm<sup>2</sup> 时，5 年后不同瘠薄红壤的表土有机 C 含量可提高 2.1~7.5g/kg，平均提高了 4.7g/kg；全 N 含量提高 0.18~0.71g/kg，平均提高 0.45g/kg。而单施化肥的处理土壤有机 C 含量平均仅提高 2.0g/kg，全 N 含量提高 0.22g/kg。在施用较高量有机肥的情况下 (9000 kg/hm<sup>2</sup>)，5 年后表土有机 C 含量从原来的 1.3~3.0g/kg 提高到 7.0~9.7g/kg，全 N 含量从原来的 0.34~0.41g/kg 提高到 0.70~1.05g/kg，该值已接近一般旱地红壤的含量水平。

不同母质发育的瘠薄红壤，主要因粘粒含量的不同，施用有机肥料后土壤有机 C 和全 N 的积累量也不同；第四纪红色粘土与第三纪红砂岩风化物发育的红壤相比，施用有机肥料 5 年后，土壤有机 C 和全 N 的积累量平均约高 1.5g/kg 和 0.15g/kg。水旱轮作下则因水稻根茬的归还量大以及淹水状态下有机物质的分解速率较慢<sup>[10]</sup>，而导致其土壤有机 C 和全 N 的积累量高于旱作处理 0.24g/kg 和 0.03g/kg。

化肥用量相同时，土壤有机 C 和全 N 的积累量随有机物料用量增加而提高。猪粪的施用是提高全 N 积累量上的效果显著优于稻草，与猪粪含 N 量高有关。但施用稻草和猪粪后土壤有机 C 积累量的差异却没有得到规律性的结果。结果还表明，虽然施用有机肥料可以降低容重，但 0~20cm 土壤有机 C 储量变化与上述有机 C 含量的变化趋势相一致。

表 3 不同施肥处理对瘠薄红壤有机 C、N 积累量 (g/kg) 的影响

Table 3 Increment of soil organic C and total N in the surface layer under different treatments after 5 years cultivation (g/kg)

施肥状况	第三纪红砂岩风化物				第四纪红色粘土				试验区原土			
	水旱轮作		旱作		水旱轮作		旱作		水旱轮作		旱作	
	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1.2	0.22	1.0	0.16	3.1	0.30	0.7	0.10	3.2	0.38	1.7	0.15
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 猪粪 1	3.3	0.38	3.5	0.42	4.5	0.42	4.1	0.46	5.2	0.43	5.1	0.47
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1.9	0.21	1.3	0.17	3.1	0.30	1.8	0.14	3.8	0.36	1.6	0.15
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 猪粪 1	3.1	0.32	2.3	0.27	5.4	0.49	4.3	0.45	5.1	0.48	4.1	0.39
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 猪粪 2	3.9	0.42	4.0	0.41	5.2	0.68	6.4	0.57	6.0	0.56	7.4	0.68
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 稻草 1	2.1	0.18	3.2	0.28	4.5	0.39	4.2	0.38	4.5	0.43	4.6	0.53
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> + 稻草 2	3.2	0.36	4.9	0.39	6.0	0.57	6.0	0.54	6.3	0.55	7.5	0.71

注：采样日期为 1993 年 11 月。

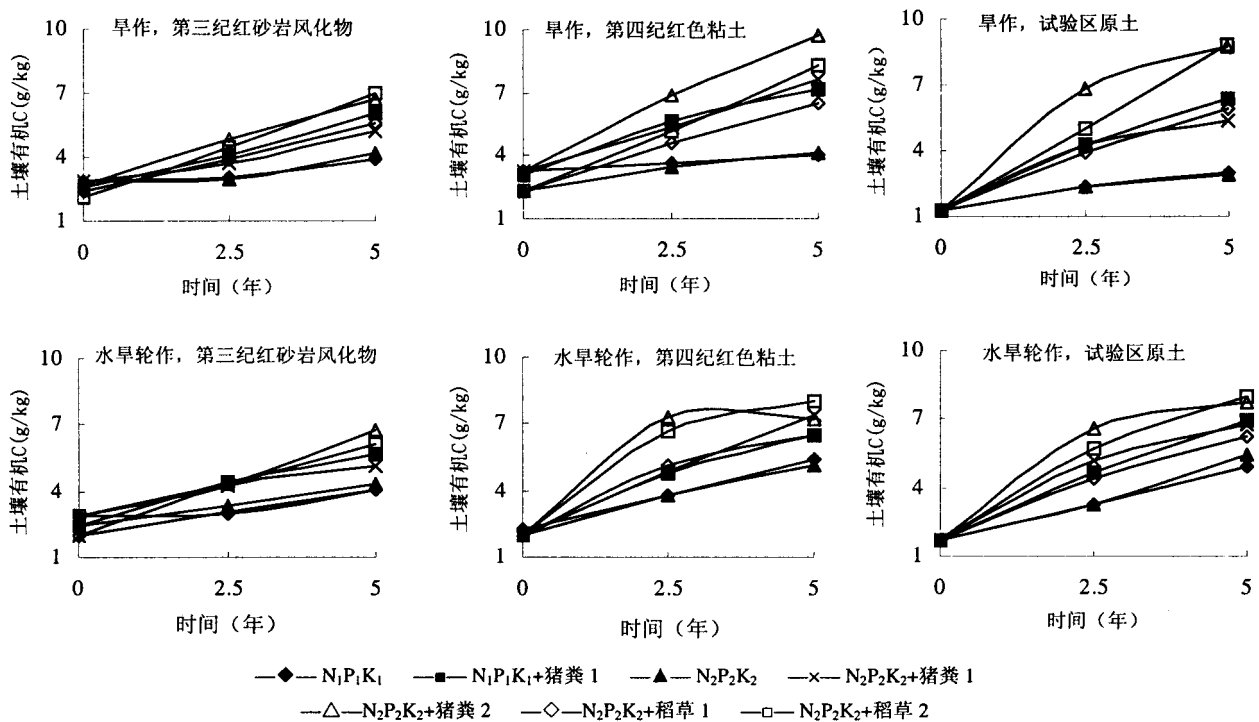


图 1 施肥条件下瘠薄红壤有机 C 的积累过程动态

Fig. 1 Changes in organic C of infertile red soils with time under fertilization treatments

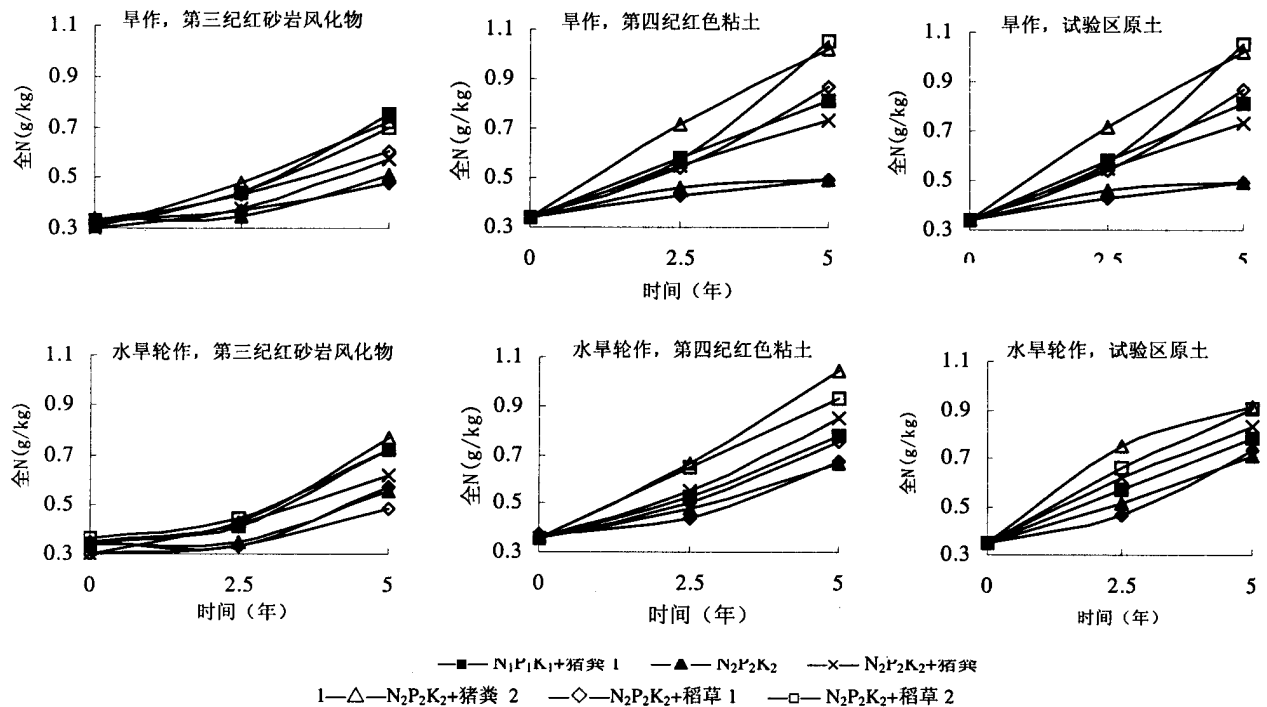


图 2 施肥条件下瘠薄红壤全 N 的积累过程动态

Fig. 2 Changes in Total N of infertile red soils with time under fertilization treatments

从图 1、2 可见，由于原土有机 C 和全 N 含量较低，5 年内连续施用有机肥料后，土壤有机 C 和

全 N 含量几乎呈直线增加；在原土有机 C 含量相近、相同有机肥料施用量的情况下，第四纪红色粘

土发育的瘠薄红壤，其有机 C 和全 N 含量增加的速度较第三纪红砂岩风化物的要快。这与前者的质地较为粘重，有机物质的分解速率较慢有关。

2.2 各级团聚体中有机 C 的含量及分配

不同粒级的团聚体，其有机 C 含量有显著不同，粒级越大的团聚体，有机 C 含量越高，>5mm 团聚体的有机 C 含量比 0.5~0.25mm 粒级平均高 4.33g/kg，其中施用有机肥处理高 4.89g/kg，单施化肥处理高 4.40g/kg。施用有机肥与单施化肥的处理相比，全土和各级团聚体中有机 C 的含量均增加，但各级团聚体有机 C 含量增加的幅度是不同的(表 4)；3~2mm，2~1mm 和 1~0.5mm 团聚体有机 C 含量增加 2.4~3.4g/kg (相对量增加 75%~85%)，增加的幅度与全土相近；>5mm，5~3mm，0.5~0.25mm

团聚体有机 C 含量增加 1.4~2.3g/kg (相对量增加 50%~55%)，比全土增加的幅度低。这种变化幅度上的差异并不与各级团聚体含量本身的变化趋势相一致，这可能与不同粒级团聚体中有机质的性质及其对有机质转化影响的差异有关<sup>[11]</sup>，其中的机理需要进一步的深入研究。

不同施肥处理对有机 C 在各级团聚体中的分配也产生显著影响(表 5)。施用有机肥与单施化肥处理相比，>5mm 团聚体中有机 C 占全土有机 C 的比例平均增加了 12.3%，0.5~0.25mm 团聚体平均降低了 3.6%；其它各级团聚体，则没有一致的增减趋势，但总的来看，>1mm 团聚体趋于增减，<1mm 团聚体趋于下降。有机 C 在各级团聚体中分配比例的变化主要与团聚体含量的增减有关。上述表明，

表 4 不同施肥处理红壤的各级团聚体有机 C 含量变化

Table 4 Effect of fertilization treatments on organic C content in aggregates of different sizes in infertile red soils

利用方式及 轮作制	母质类型	施肥处理	原土有机 C 含量(g/kg)	各级团聚体中有机 C 含量 (g/kg)					
				>5mm	5~3mm	3~2mm	2~1mm	1~0.5mm	0.5~0.25mm
旱作 (大麦-小米)	第三纪红砂	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	3.77	6.83	4.54	5.74	7.68	5.42	3.00
	岩风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	7.37	6.86	6.70	6.36	8.40	5.51	3.23
	第四纪红色 粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	3.83	8.08	11.8	4.25	4.58	2.96	2.39
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +猪粪 2	8.86	12.0	13.7	9.75	9.71	7.36	5.48
	试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	6.27	11.2	10.1	8.21	8.86	6.36	4.46
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.84	2.36	2.12	2.12	2.76	2.58	2.37
水旱轮作 (大麦-中稻)	第三纪红砂	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.94	6.91	7.17	7.24	6.72	4.33	2.67
	岩风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	6.66	9.29	10.4	11.6	11.6	7.75	3.62
	第四纪红色	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.88	8.38	6.70	6.26	5.66	3.78	2.95
	粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	7.83	8.52	7.64	7.85	6.67	4.79	3.86
	试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4.55	5.67	4.40	3.98	4.32	3.26	2.85
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	7.38	6.79	7.43	7.66	7.46	5.12	3.90

注：采样日期为 1994 年 11 月。

表 5 不同施肥处理对有机 C 在各级团聚体中分配的影响

Table 5 Effect of fertilization treatments on distribution of organic C in aggregates of different sizes in infertile red soils

利用方式及 轮作制	母质类型	施肥处理	有机 C 在各级团聚体中的分配 (占全 C %)						
			>5mm	5~3mm	3~2mm	2~1mm	1~0.5mm	0.5~0.25mm	<0.25mm
旱作 (大麦-小米)	第三纪红砂	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.7	1.9	2.4	5.6	10.4	19.7	57.3
	岩风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	11.7	4.0	2.2	4.1	7.2	8.8	62.0
	第四纪红色 粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	6.5	5.5	2.3	4.6	7.7	12.0	61.4
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +猪粪 2	18.3	6.0	3.5	6.5	10.8	8.9	46.0
	试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	24.4	5.3	2.5	7.3	10.0	10.8	39.7
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	6.1	4.7	2.7	4.7	8.9	11.7	61.2
水旱轮作 (大麦-中稻)	第三纪红砂	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	18.5	6.2	4.9	7.8	11.1	9.9	41.6
	岩风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	10.6	4.3	2.8	5.5	7.8	13.2	55.8
	第四纪红色 粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	27.6	7.5	4.6	6.3	9.0	10.8	65.8
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	20.1	3.4	3.4	7.1	9.7	10.7	45.6
	试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	13.1	3.4	2.7	5.3	7.9	9.2	58.4
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	17.0	5.2	2.6	4.9	9.7	11.6	49.0
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	22.7	6.6	4.3	6.4	8.1	7.5	44.4	

注：采样日期为 1994 年 11 月

施用有机肥, 不仅增加大团聚体中有机 C 的含量, 而且增加其所占的比例, 这是养分有效性提高和有机质品质改善的体现。

### 2.3 腐殖质的组成性质

表 6 是不同施肥处理对不同母质类型、不同轮作方式红壤腐殖质组成性质影响的测定结果。

结果表明, 不论母质类型如何, 也不论施用何种有机肥料, 采用何种轮作制度, 其腐殖质组成没有明显差异。与施用猪粪的处理相比, 施用稻草处理的胡敏酸的  $E_4/E_6$  比值有增大的趋势; 试验区原土较第三纪红砂岩风化物或第四纪红色粘土发育的红壤, 其可提取 C 占全 C 比例以及胡敏酸的  $E_4$  值要低一些。结果还表明, 施用有机肥与单施化肥处理相比, pH 升高, 活性 Fe、Al 含量下降。土壤腐殖质的组成性质受成土因素, 包括母质、植被、水热条件等的影响, 长期的耕作制度、施肥条件等的不同

也会引起土壤腐殖质组成性质的差异。然而, 腐殖质的形成又是一个长期、复杂的过程, 本项试验时间较短, 一些因素的影响还不显著。随着长期试验观测的进行, 各因素的影响将会得到进一步的明确。

### 2.4 土壤酶活性和土壤微生物数量变化

不同的施肥处理也造成了土壤酶活性水平的差异。施用有机肥与单施化肥处理相比 (表 7), 转化酶活性提高了 25.7%, 脲酶活性提高了 101.7%, 酸性磷酸酶活性提高了 73.4%。相比较而言, 水旱轮作条件下, 施用有机肥提高土壤酶活性的效果更明显。结果还表明, 施用有机肥 6 年, 瘠薄红壤转化酶、脲酶、酸性磷酸酶活性已达到或接近一般肥力旱地红壤的水平, 而单施化肥处理仍与荒地红壤水平相当<sup>[12]</sup>。

表 6 不同施肥处理对红壤腐殖质组成性质的影响

Table 6 Effect of fertilization treatments on composition and properties of humus in infertile red soils

利用方 式及轮 作制	母 质 类 型	施肥处理	pH (KCl)	有机 C(g/kg)	可提取 C	富里酸 C	胡敏酸 C	H/F	$E_4$	$E_4/E_6$	活性	活性	
											$Fe_2O_3$ (g/kg)	$Al_2O_3$ (g/kg)	
旱作 (大麦- 小米)	第三纪 红砂岩 风化物	$N_2P_2K_2$	3.75	/	/	/	/	/	/	/	1.1	2.1	
		$N_2P_2K_2$ +猪粪 1	3.81	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
		$N_2P_2K_2$ +猪粪 2	3.82	4.8	46.0	38.0	7.98	0.21	0.469	7.44	0.9	1.8	
	第四纪 红色粘 土	$N_2P_2K_2$ +稻草 1	3.78	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
		$N_2P_2K_2$ +稻草 2	3.84	4.5	43.8	36.2	7.58	0.21	0.463	8.74	0.9	2.1	
		$N_2P_2K_2$	3.65	/	/	/	/	/	/	/	1.9	3.0	
	试验区 原土	$N_2P_2K_2$ +猪粪 1	3.66	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
		$N_2P_2K_2$ +猪粪 2	3.68	6.9	37.8	30.8	7.04	0.23	0.498	7.22	1.7	3.0	
		$N_2P_2K_2$ +稻草 1	3.70	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	水旱轮 作(大 麦-中 稻)	$N_2P_2K_2$ +稻草 2	3.70	5.2	42.0	34.2	7.82	0.23	0.520	8.13	1.7	2.6	
		$N_2P_2K_2$ +猪粪 2	/	6.8	32.5	26.8	5.76	0.22	0.363	6.85	/	/	
		$N_2P_2K_2$ +稻草 2	/	5.0	32.3	26.0	6.30	0.24	0.375	8.72	/	/	
第三纪 红砂岩 风化物		$N_2P_2K_2$	4.07	/	/	/	/	/	/	/	1.8	2.3	
$N_2P_2K_2$ +猪粪 1		4.03	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
$N_2P_2K_2$ +猪粪 2		4.13	4.3	47.8	39.8	8.07	0.20	0.417	7.19	1.8	2.0		
第四纪 红色粘 土	$N_2P_2K_2$ +稻草 1	4.02	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	$N_2P_2K_2$ +稻草 2	4.10	/	/	/	/	/	/	/	1.8	2.2		
	$N_2P_2K_2$	4.04	/	/	/	/	/	/	/	2.6	2.7		
	$N_2P_2K_2$ +猪粪 1	4.08	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
	$N_2P_2K_2$ +猪粪 2	4.16	7.3	36.3	29.1	7.23	0.25	0.367	8.53	3.1	2.6		
	$N_2P_2K_2$ +稻草 1	3.87	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
试验区 原土	$N_2P_2K_2$ +稻草 2	4.04	/	/	/	/	/	/	/	2.9	2.4		
	$N_2P_2K_2$ +猪粪 2	/	6.6	29.7	24.4	5.29	0.22	0.351	7.31	/	/		

注: 土壤酸度测定的采样为 1993 年 11 月, 其它测定项目的采样日期为 1991 年 5 月。

表 7 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

Table 7 Effect of fertilization treatments on enzyme activity in infertile red soils

利用方式及 轮作制	母质类型	施肥处理	转化酶活性		
			(葡萄糖 mg/(g 干土 24h))	(脲酶活性 (NH <sub>4</sub> -N mg/(g 干土 24h))	酸性磷酸酶活性 (酚 mg/(g 干土 24h))
旱作 (大麦-小米)	第三纪红砂岩风 化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	10.2	0.16	3.09
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 1	10.8	0.24	4.05
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	10.6	0.30	4.71
	第四纪红色粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	17.5	0.16	3.08
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +猪粪 2	17.0	0.32	6.50
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	17.1	0.28	5.16
试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	21.0	0.11	2.45	
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	25.6	0.25	5.63	
水旱轮作 (大麦-中稻)	第三纪红砂岩风 化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	8.09	0.15	3.20
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	9.96	0.36	4.76
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	9.08	0.15	3.81
	第四纪红色粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	13.5	0.25	6.50
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12.5	0.12	4.49
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	18.8	0.32	7.91

注：采样日期为 1994 年 11 月。

表 8 不同施肥处理对土壤微生物数量的影响

Table 8 Effect of fertilization treatments on microorganism populations in infertile red soils

利用方式及 轮作制	母质类型	施肥处理	微生物总数			
			(10 <sup>4</sup> /g 干土)	细菌 (10 <sup>4</sup> /g 干土)	真菌 (10 <sup>3</sup> /g 干土)	放线菌 (10 <sup>4</sup> /g 干土)
旱作 (大麦-小米)	第三纪红砂岩 风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	438.7	309.5	30.1	126.2
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	1470.2	1401.0	129.6	56.2
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	255.1	171.4	401.5	43.5
	第四纪红色粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +猪粪 2	354.9	242.2	268.2	85.9
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	1052.4	963.8	111.1	77.5
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	189.8	52.5	401.6	97.1
试验区原土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	189.8	52.5	401.6	97.1	
	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	228.9	151.2	167.1	61.0	
水旱轮作 (大麦-中稻)	第三纪红砂岩 风化物	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	196.2	142.1	42.4	49.9
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	1808.7	1729.0	7.9	78.9
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	635.1	595.8	131.2	26.2
	第四纪红色粘土	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	810.6	771.1	131.6	26.3
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	135.3	88.2	156.4	45.5
		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> +稻草 2	476.0	396.6	226.6	56.7

注：采样日期为 1995 年 1 月。

一般红壤条件下，每克干土微生物总数约在 700~3000 万个<sup>[13]</sup>。本项试验所采用的土壤肥力很低，但在施用有机肥 6 年后，微生物数量得到明显提高，细菌数量已接近一般红壤的中低值，而放线菌和真菌数量已达到平均值。但单施化肥处理微生物数量水平仍较低。

### 3 结论

土壤生物化学性状是土壤肥力的重要指标，是土壤生产力和生态系统功能的重要表征。通过施用有机肥，可以明显增加土壤有机质和全 N 的积累。通过影响有机 C 在各级团聚体中的分配，有机肥的

施用还能提高养分的有效性和改善土壤有机质的品质。同时,有机肥的施用也大大增加土壤酶活性和微生物数量水平,改善土壤中的生命活动。只要保持每年施用适量的有机肥,瘠薄红壤的大部分肥力指标可在不长的时间内(6~10年)恢复到中等肥力的旱地红壤水平。由此可见,施用有机肥是有效恢复退化红壤生态系统的重要举措,应当受到重视,落实到本区农业生产的具体实践中。

#### 参考文献

- 1 张桃林主编. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999, 138
- 2 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32 (4): 362~369
- 3 王明珠, 石华. 江西省土壤资源的开发策略. 见: 石华主编. 红壤生态系统研究 (第一集). 北京: 科学出版社, 1992, 22~26
- 4 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978, 593
- 5 文启孝主编. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984, 318
- 6 关松荫编著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986, 376
- 7 陈华葵, 李阜棣, 陈文新等. 土壤微生物学. 上海: 上海科技出版社, 1981, 256
- 8 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996, 266
- 9 Li ZP, Cheng LL, Lin XX. Accumulation of organic matter in infertile red soils and its ecological importance. *Pedosphere*, 2000, 10 (2): 149~158
- 10 林心雄, 文启孝, 程励励等. 土壤中有机物质分解的控制因素研究. 土壤学报, 1995, 32 (增刊): 41~48
- 11 张晓华, 杜丽娟, 文启孝. 几种水稻土不同粒级中的有机质含量和组成. 土壤学报, 1984, 21(4): 418~425
- 12 潘映华, 施亚琴, 李振高等. 红壤区不同植被下土壤酶活性的研究. 见: 王明珠, 张桃林, 何园球主编. 红壤生态系统研究 (第三集). 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 172~178
- 13 尹瑞龄. 红壤的细菌资源. 见: 石华主编. 红壤生态系统研究 (第一集). 北京: 科学出版社, 1992, 189~195

## EFFECT OF FERTILIZER APPLICATION ON BIOCHEMICAL PROPERTIES OF INFERTILE RED SOILS

Li Zhongpei Jiao Kun Lin Xinxiong Cheng Lili

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

**Abstract** A long-term field experiment was conducted at the Ecological Experimental Station of Red Soil, Chinese Academy of Sciences in order to investigate rehabilitation of fertility in infertile red soils with application of fertilizers. This paper reported mainly results of the experiment about changes in soil biochemical properties. Application of organic manure at a rate of 4500~9000kg/hm<sup>2</sup> for 5 years increased organic carbon content by 2.1~7.5g/kg and total nitrogen by 0.18~0.71g/kg in surface 20cm of infertile red soils, while application of inorganic fertilizers only by 2.0g/kg and 0.22g/kg, respectively. When the application rate of organic manure was 9000kg/hm<sup>2</sup>, 5 years' application could increase the organic carbon content from 1.3~3.0g/kg to 7.0~9.7g/kg and the total nitrogen from 0.34~0.41g/kg to 0.70~1.05g/kg in surface 20cm of infertile red soils, which were close to the level of normal upland red soil. Organic matter accumulation also varied with the parent material, landuse pattern and organic manure application rate. Application of organic manure, moreover, significantly increased the content and ratio of organic carbon in macroaggregates, enzyme activity, microorganism population, indicating its important role for improving nutrient availability and organic matter quality.

**Key words** Infertile red soils, Fertilization, Biochemical properties