

退化红壤的有机质状况及施肥影响的研究*

李忠佩 程励励 林心雄

(中国科学院南京土壤研究所)

摘要

对比研究了我国南方主要类型退化红壤的有机质含量状况及腐殖质的组成特征，并定位观测了施肥对退化红壤有机质的积累过程的影响。

我国热带、亚热带地区的丘陵岗地上有大面积的红壤荒地，该地区热量和水分资源丰富，原有林地的生物循环和生物积累旺盛。长期以来，由于森林滥遭砍伐，大部分森林植被演替为疏林高草、马尾松茅草或灌丛草被，植物残体的归还量减少，矿化量相对增大，土壤有机质含量明显下降；有些地区因燃料、肥料缺乏，常年铲草皮积肥，收集地表凋落物作燃料，引起表土流失，心土裸露，生态环境恶化，导致红壤肥力严重退化。

退化红壤还包括一部分肥力水平较低的红壤旱地，这部分旱地因施肥不足，侵蚀严重等原因，作物生长环境较差，土壤肥力也严重退化。南方大面积的退化红壤中，退化程度较严重的已占到三分之一以上，仅以江西省为例，有机质含量较低的红壤性土有450万公顷，侵蚀红壤有40万公顷。

退化红壤生态环境的改善与重建，首要的是提高土壤肥力。土壤有机质是土壤肥力的物质基础。为了对退化红壤有机质的背景状况有较全面的了解，以及制定提高红壤有机质含量的有效措施，为此，我们对江西、湖南、浙江等地退化红壤的代表性样品进行了对比研究，并在江西鹰潭中国科学院红壤生态试验站设置定位试验，观测不同施肥条件下退化红壤的有机质积累状况。本文报道这方面的研究结果。

一、材料与方法

(一)供试土样

包括江西、湖南、浙江等地的十组低产旱地和侵蚀荒地的对比样品，江西的30个低产旱地耕层土样以及南方其它地区的10个退化红壤剖面样。

(二)田间有机质积累的微区试验

分层采集发育于第三纪红砂岩风化物，第四纪红色粘土以及第三纪、第四纪过渡型母质发育的荒地红壤，按层次分别填入试验微区内，微区面积为1米²，深0.75米，四周用红砂石砌成。微区间隔为2米，作保护行用。试验处理见表1。

(三)分析方法

土壤有机碳用丘林法^[1]，土壤全氮用开氏法^[1]，土壤腐殖质分组测定用Kononova快速法^[2]。

*本研究为国家“八·五”攻关项目——“南方红壤退化专题研究”的一部分。

表1

试验处理的设置

母质类型	水分条件	肥料配比	肥料用量(公斤/公顷·季)
第三纪红砂岩风化物	早作	$N_1P_1K_1$	$N_{60}P_{40}K_{60}$
		$N_1P_1K_1 + 猪粪1$	$N_{60}P_{40}K_{60} + 猪粪2250$
		$N_2P_2K_2$	$N_{120}P_{80}K_{120}$
第四纪红色粘土		$N_2P_2K_2 + 猪粪1$	$N_{120}P_{80}K_{120} + 猪粪2250$
		$N_2P_2K_2 + 猪粪2$	$N_{120}P_{80}K_{120} + 猪粪4500$
		$N_2P_2K_2 + 稻草1$	$N_{120}P_{80}K_{120} + 稻草2250$
过渡型		$N_2P_2K_2 + 稻草2$	$N_{120}P_{80}K_{120} + 稻草4500$

试验布置日期：1998年10月。

二、结果与讨论

(一)退化红壤的有机质状况

1. 退化红壤的有机碳含量和储量

退化红壤的有机碳含量一般都很低。对南方不同侵蚀程度的荒地及低产旱地的50个表土测试结果表明(图1)，有机碳含量最高的为 10 g kg^{-1} 左右，而最低的仅为 1.5 g kg^{-1} ，平均为 $6.2 \pm 2.6\text{ g kg}^{-1}$ ，全氮含量平均为 $0.63 \pm 0.25\text{ g kg}^{-1}$ ；有机碳含量 $<8.7\text{ g kg}^{-1}$ 的占84%，含量 $<5.8\text{ g kg}^{-1}$ 的占42%。

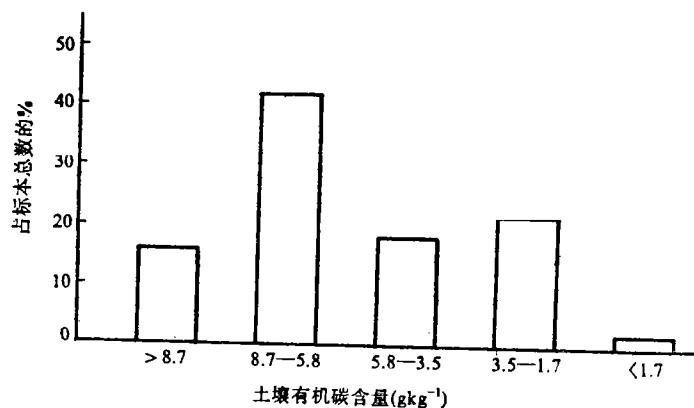


图1 退化红壤有机碳含量的出现机率

不同利用方式下，旱地红壤的有机碳含量略高于荒地红壤(表2)，这是因为在人为利用的情况下，通过施肥增加了植物残体的归还量，土壤有机碳的积累量相应有所增加。在不同植被类型及不同覆盖度下形成的退化红壤，其有机碳含量也不同，如匍匐型草本(狗牙根等)下的略高，稀疏马尾松及荒草的较低^[3]，而侵蚀严重的红壤荒地，有机碳含量最低；中国科学院红壤生态试验站荒地红壤的有机碳含量也呈现这一变化趋势^[4]，如植被稀少的荒地红壤及土层浅薄、肥力较低的旱地，其有机碳含量在 $1.7—4.6\text{ g kg}^{-1}$ 间，而侵蚀严重，网纹层裸露的红壤，有机碳含量则低于 1.7 g kg^{-1} 。

表2 退化红壤的C、N含量

利用方式	样本数	土壤有机碳(g kg^{-1})	全氮(g kg^{-1})	C/N
低产旱地	10	7.6 ± 1.6	0.77 ± 0.22	10.4 ± 2.5
侵蚀荒地	12	6.8 ± 2.9	0.62 ± 0.22	11.1 ± 2.6

不同母质发育的退化红壤，其有机碳含量依次为(表3)：花岗岩 \geq 第四纪红色粘土 $>$ 第三纪红砂岩风化物 $>$ 紫色砂岩；不同母质发育的红壤有不同的颗粒组成^[5]，花岗岩母质发育的，其颗粒组成特点是砂粒、粘粒多，粉砂粒少，粘粒含量可达44%；第四纪红色粘土发育的红壤，粘粒含量占30—39%。粘粒含量高的红壤，对有机质的保护作用较强，表土的抗蚀能力也较大，其有机碳含量则较高；第三纪红砂岩风化物发育的红壤，颗粒组成以0.25—0.05mm的细砂粒为主体(占50%以上)，紫色砂岩发育的旱地或荒地红壤一般风化程度较低，石砾含量达17—33%，砂粒高达60—64%，粘粒含量却低于12%；粘粒含量低对有机质的保护能力弱，抗蚀性较差，表层有机碳含量也较低。

表3 不同母质发育的退化红壤表土的有机碳、全氮含量状况*

母 质	利用方式	有机碳(g kg^{-1})			全氮(g kg^{-1})		
		幅度	\bar{x}	n	幅度	\bar{x}	n
花 岩	低产旱地	6.8—9.9	8.4	6	0.57—0.85	0.68	6
	侵蚀荒地	2.6—8.7	5.8	5	0.18—0.57	0.38	4
第四纪红色粘土	低产旱地	5.3—10.7	8.2	9	0.35—1.22	0.80	8
	侵蚀荒地	2.4—10.4	5.7	7	0.32—1.32	0.68	7
第三纪红砂岩风化物	低产旱地	4.3—11.3	7.8	2	0.42—0.46	0.44	2
	侵蚀荒地	3.7—10.6	7.7	5	0.56—0.98	0.73	3
紫色砂岩	低产旱地	4.7—11.0	7.6	8	0.45—1.09	0.83	8
	侵蚀荒地	1.4—4.8	3.1	4	0.28—0.63	0.42	4

* 部分结果引自文献[3,5]。

退化红壤剖面中各土层有机碳含量的分异不同于熟化程度较高的旱地红壤或未受侵蚀的林地红壤，由于表土侵蚀严重，退化红壤的有机碳含量和储量均较低(图2·表4)，0—20cm土层的有机碳储量占0—100cm土层有机碳储量的33.6%，0—20cm土层有机碳储量占20—100cm有机碳储量的45.9%，而熟化程度较高的旱地红壤的相应数值分别为38.7%和55.0%。退化红壤全剖面氮的储量虽较低，但0—20cm土层的全氮储量占0—100cm土层储量的比值与熟化程度较高的红壤相近，前者为28.1%，后者为29.4%。因此，两者间的C/N比值有

表4 退化红壤0—20cm和0—100cm土体中有机碳和全氮的储量* 单位：(kg/ha)

剖面号	地 点	母 质	0—20cm		0—100cm		0—20cm 0—100cm %	
			C	N	C	N	C	N
1	浙江金华	第四纪红色粘土	18654	960	54964	4360	33.9	22.0
2	湖南桃源	第四纪红色粘土	13813	1287	33291	4651	41.5	27.7
3	江 西	第四纪红色粘土	9083	1197	35699	5717	25.4	20.9
4	江 西	第四纪红色粘土	7381	1014	17482	3913	42.2	25.9
5	广西南宁	第四纪红色粘土	12949	1610	42183	4998	30.7	32.2
6	湖 南	紫色页岩	15563	2129	51326	7976	30.3	26.7
7	湖南桃源	紫色砂岩	14789	4001	63050	12509	23.5	32.0
8	江 西	花 岩	20062	3759	94702	10454	21.2	36.0
9	江 西	酸性凝灰岩	17169	1670	43634	5811	39.3	28.7
10	浙江安吉	砂砾岩风化物	13709	1740	28764	6080	47.7	28.6
退化红壤(n=10)			X	14317	1937	45510	6647	33.6 28.1
			S _x	3940	1086	22294	2827	8.9 4.6
熟化旱地红壤(n=10)			X	40359	3325	113792	12233	38.7 29.4
			S _x	11571	673	57526	4697	11.2 8.6

* 部分结果根据文献资料[3,7]计算。

较大差别，退化红壤0—20cm和20—100cm土层的C/N比分别为7.4和6.6，而熟化红壤则分别为12.1和8.2。通常土壤有机质在积累过程中，C/N比值有增大的趋势，即有机碳的积累速度比氮的积累速度要快，这可能与输入土壤的有机物质的C/N比值较大有关。

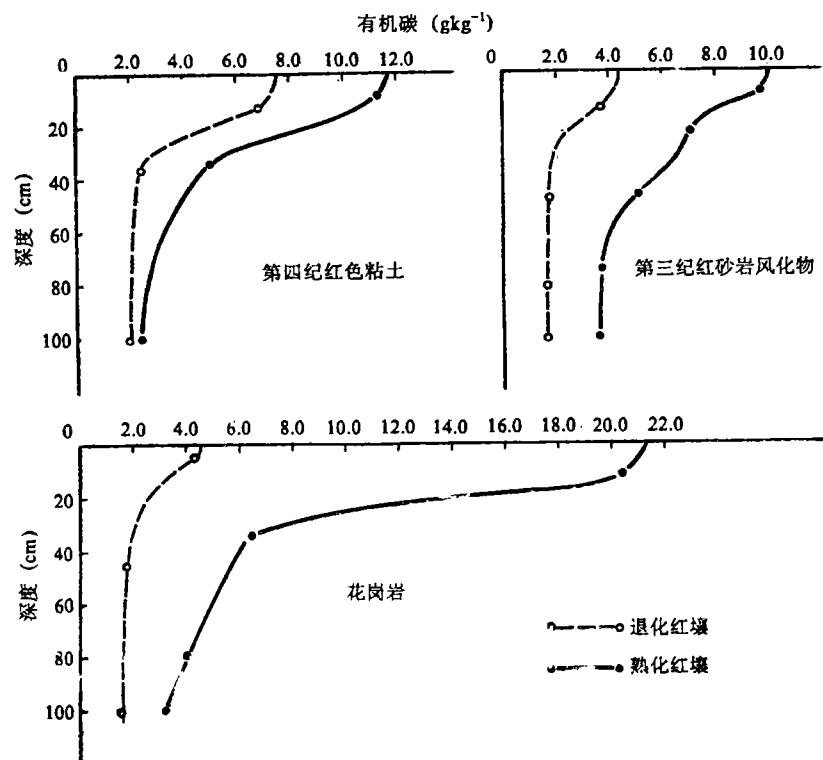


图2 不同母质发育的熟化红壤与退化红壤的有机碳含量分布

(本图根据参考文献[3、5]资料改编)

2. 退化红壤腐殖质的组成性质

分析结果表明(表5)，退化红壤腐殖质组成中，以富里酸(FA)为主体。胡敏酸(HA)碳占土壤有机碳的比例变动在2.5~12.0%之间，平均为 $7.2 \pm 2.8\%$ ；富里酸的相应数值为22.5~36.6%和 $28.1 \pm 4.3\%$ 。HA/FA比值均小于0.5，平均值为 0.26 ± 0.13 。与中、高度熟化旱地红壤相比，退化红壤不仅HA/FA比值较低，胡敏酸的光密度值(E_4)也较低，其平均值为 0.71 ± 0.14 ，有的甚至在0.5以下。这表明，退化红壤的肥力水平低下，水土流失严重，不仅不利于腐殖酸的积累，也不利于其分子的进一步缩合。表6的结果进一步证明了这一点，即肥力水平不同的耕地红壤，其腐殖质组成性质差异较大，肥力水平较高的红壤，施肥水平较高，作物生长良好，进入土壤的根茬量也高，有利于腐殖物质的形成，特别由于其土壤侵蚀程度较轻，有利于腐殖酸的进一步缩合，形成分子量较大的土壤胡敏酸，因而肥力水平高的耕地红壤，HA/FA比值大于低肥土壤，胡敏酸的光密度值也略高。

(二)施肥条件下退化红壤有机质含量及组成性质的变化

1. 施肥条件下退化红壤有机质的积累

由于退化红壤的肥力较低，酸度较高，影响微生物的活性，有机物质在退化红壤中的分解速率也较慢^[6]。因此，在施肥条件下，退化红壤中有机质的积累速度较快。例如，当有机

表5

江西省退化红壤腐殖质的组成性质

编号	地点	深度 (cm)	有机碳 (gkg ⁻¹)	全氮 (gkg ⁻¹)	腐殖质组成(占全C%)			HA/FA	E ₄
					总量	HA	FA		
1	宜春	0~12	9.4	0.88	35.5	4.8	30.7	0.16	0.67
2	宜春	0~17	8.4	0.67	38.8	9.8	29.1	0.34	0.45
3	吉安	0~8	9.9	1.03	43.1	6.4	31.7	0.17	0.75
4	吉安	0~11	9.7	0.83	32.8	4.0	28.8	0.14	0.71
5	吉安	0~10	6.0	0.45	35.4	7.0	28.4	0.25	0.91
6	南昌	0~8	8.2	0.93	37.6	8.1	29.5	0.27	0.70
7	南昌	0~15	8.7	1.01	34.5	12.0	22.5	0.53	—
8	上饶	0~14	8.5	1.17	32.8	10.0	22.8	0.44	—
9	南昌	0~10	3.3	0.59	26.8	2.5	24.3	0.10	—
10	赣州	0~25	4.2	0.42	31.6	7.1	24.5	0.29	—
11	余江	0~13	7.8	0.77	44.3	7.7	36.6	0.21	0.76
退化红壤		X	7.6	0.80	35.8	7.2	28.1	0.26	0.71
		Sx	2.2	0.24	5.1	2.8	4.3	0.13	0.14
熟化旱地红壤 (n=18)		X	24.5	1.87	34.1	10.2	23.9	0.46	0.83
		Sx	12.4	0.80	4.3	3.8	5.0	0.26	0.21

表6

不同肥力红壤耕地的腐殖质组成性质

肥力水平	花生产量 (kg/ha)	深度 (cm)	有机碳 (gkg ⁻¹)	全氮 (gkg ⁻¹)	C/N	腐殖质组成(占全C%)			E ₄
						HA	FA	HA/FA	
高 肥	3750—4500	0~16	13.5	1.23	11.0	8.0	28.8	0.28	0.89
		16~30	9.3	0.85	10.9	3.7	27.5	0.13	1.40
低 肥	750—1500	0~13	7.8	0.77	10.1	7.7	36.6	0.21	0.76
		13~25	2.9	0.41	7.1	1.9	33.6	0.06	—

肥施用量为4500~9000公斤/公顷·年，经2.5年后，表土有机碳含量可提高1.1~5.5gkg⁻¹(表7)。表7中还看出退化红壤有机质的积累有如下特点：

1)施用有机肥处理，土壤有机质积累量随有机肥用量的增加而增加，有机肥用量提高1倍，土壤有机质的积累量几乎也提高1倍；单施化肥的处理，当化肥用量增加1倍，有机质的积累量并不相应增加，它表明，对于养分瘠薄的红壤，如果不施有机肥，仅增加化肥的用量并不能明显促进作物生长，也不能较大幅度地提高作物残体的归还量。

2)由于粘粒对有机质具有较强的保护能力，从而减缓有机物质的分解速率。因此，在粘粒含量较高的第四纪红色粘土发育的土壤中，有机质的积累较多；第三纪红砂岩风化物发育的土壤，砂性较重，有机质的积累较少。除粘粒含量的影响外，这两种母质的富铝化程度的差异，也可能造成有机质积累速度的不同。发育于第四纪红色粘土的红壤，其活性铁铝含量较高，当活性铁铝与有机物质分解的中间产物形成络合物时，有机质的生物学稳定性加大了。另据统计结果表明，有机质含量与活性铁铝的含量有较好的相关性。

3)过渡型母质发育的红壤，其粘粒含量虽与红砂岩母质发育的红壤的粘粒含量相近，但有机质含量却低得多。在施入等量的有机物料时，前者有机质的积累量却高得多。由此可见，原土有机质的含量对有机物料的分解也会产生影响。在退化红壤上布置的另一组试验的结果也表明^[6]，在土壤粘粒和酸度相近的情况下，有机物质的分解速率随原土有机质含量的升高而加快。

4) 土壤氮含量的变化,因有机肥料种类的不同而异。施用猪粪的处理,猪粪用量高的微区,土壤氮的积累量也多;而施用稻草的处理,土壤氮的积累量,除第四纪红色粘土发育的土壤外,并不随稻草用量的增加而增加。

2. 施肥对退化红壤腐殖质组成性质的影响

表8是不同施肥处理对不同母质类型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,也不论施用何种肥料,其腐殖质组成没有明显的差异。与施用猪粪的处理

表7 施肥对退化红壤0—20cm土层有机碳和全氮含量的影响

母 质	有机碳 (gkg ⁻¹)	全氮 (gkg ⁻¹)	粘粒 (<1μ) (%)	处理	施 肥 后			
					有机碳(gkg ⁻¹) 含量	有机碳(gkg ⁻¹) 积累量	全氮(gkg ⁻¹) 含量	全氮(gkg ⁻¹) 积累量
第三纪红砂 岩风化物	2.6	0.32	15.5	N ₁ P ₁ K ₁	3.2	0.6	0.37	0.05
				N ₁ P ₁ K ₁ +猪粪 1	4.1	1.5	0.44	0.12
				N ₂ P ₂ K ₂	3.0	0.4	0.35	0.03
				N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 1	3.7	1.1	0.38	0.06
				N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2	4.8	2.2	0.48	0.16
				N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1	3.9	1.3	0.43	0.11
				N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2	4.5	1.9	0.44	0.12
第四纪红色粘土	2.9	0.38	38.1	N ₁ P ₁ K ₁	3.7	0.8	0.44	0.06
				N ₁ P ₁ K ₁ +猪粪 1	5.6	2.7	0.59	0.21
				N ₂ P ₂ K ₂	3.5	0.6	0.42	0.04
				N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 1	5.4	2.5	0.57	0.19
				N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2	6.9	4.0	0.69	0.31
				N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1	4.6	1.7	0.53	0.15
				N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2	5.2	2.3	0.56	0.28
过渡型	1.3	0.34	16.6	N ₁ P ₁ K ₁	2.4	1.1	0.43	0.09
				N ₁ P ₁ K ₁ +猪粪 1	4.3	3.0	0.58	0.24
				N ₂ P ₂ N ₂	2.4	1.1	0.46	0.12
				N ₂ P ₂ N ₂ +猪粪 1	4.3	3.0	0.55	0.21
				N ₂ P ₂ N ₂ +猪粪 2	6.8	5.5	0.72	0.38
				N ₂ P ₂ N ₂ +稻草 1	3.9	2.6	0.54	0.20
				N ₂ P ₂ N ₂ +稻草 2	5.0	3.7	0.57	0.23

注: 采样日期为1991年5月。

相比,施用稻草处理的胡敏酸的E₄/E₆比值有增大的趋势,过渡型母质发育的红壤较第三纪红砂岩风化物或第四纪红色粘土发育的红壤,其胡敏酸的E₄值要低一些。土壤腐殖质的组成性质受成土诸因素,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,腐殖质的形成是一个复杂的过程,试验区的设置时间还比较短,一些因素的影响还不显著。随着长期的定位观察,母质和施肥条件的影响将会得到进一步的明确。

表8 不同处理条件下退化红壤腐殖质组成性质变化

母 质	处 理	腐殖质组成(占全C%)			胡敏酸光学性质	
		HA	FA	HA/FA	E ₄	E ₄ /E ₆
第三纪 红砂岩风化物	N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2	8.0	38.0	0.21	0.47	7.46
	N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2	7.6	36.2	0.21	0.46	8.68
第四纪 红色粘土	N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2	7.0	30.8	0.23	0.50	7.25
	N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2	7.8	34.2	0.23	0.52	8.13
过 渡 型	N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2	5.8	26.8	0.22	0.36	6.79
	N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2	6.3	26.0	0.24	0.38	8.84

注: 采日期为1991年5月

三、小 结

退化红壤的有机碳含量大多 $<8.7\text{gkg}^{-1}$, 侵蚀严重的裸露地之表土有机碳含量低于 1.7gkg^{-1} 。退化红壤全剖面有机碳和氮的储量较低, 仅分别为熟化旱地红壤的40%左右和55—63%, 0—20cm土层有机碳和氮储量也较低。与熟化旱地红壤相比, 退化红壤的胡敏酸/富里酸比值较低, 胡敏酸的光密度也较低。若年施干有机肥4500—9000公斤/公顷时, 经2.5年后表土有机碳含量可提高 $1.1—5.5\text{gkg}^{-1}$ 。施用有机肥料配施适量的化肥, 能使退化红壤的有机质含量得到较大的提高。

参 考 文 献

- [1] 文启孝主编, 土壤有机质研究法, 农业出版社, 1984。
- [2] M.M. 科诺诺娃(周礼恺译), 土壤有机质, 科学出版社, 1966。
- [3] 江西土地利用管理局、江西土壤普查办公室编, 江西土壤, 中国农业科技出版社, 1991。
- [4] 吴锡军、刘崇群等, 红壤生态站土壤养分状况, 红壤生态系统研究(第一集), 科学出版社。
- [5] 赵其国、谢为民等, 江西红壤, 江西科技出版社, 1988。
- [6] 李忠佩、程勋勋, 江西耕地土壤有机质平衡及施肥对瘠地红壤有机质积累的影响, 红壤生态系统研究(第二集), 江西科技出版社, 1993。
- [7] 龚子同等著, 华中亚热带土壤, 湖南科技出版社, 1983。

(上接第64页)

(二)蓄水灌溉, 实行深耕

变性土粘粒含量在30%以上, 质地粘重, 特别是亚表层在15—25厘米以下形成紧实的心土层, 通透性差。在湿季, 内部排水缓慢, 地表径流流失严重, 而旱季, 又由于变性土深裂的特殊物理性质, 易于漏水。因此, 选择适当地点挖塘积蓄雨季地表径流, 蓄水灌溉; 实行深耕, 松动紧实心土层, 增加通透性, 减少径流流失。同时提倡喷灌和浇灌, 减少旱季裂隙漏水, 提高水资源的利用率。

(三)适施磷、钾、硼、钼肥料

变性土磷、钾贮量低, 磷全量平均值为 0.82gkg^{-1} , 钾全量平均为 3.7gkg^{-1} ; 有半数土壤的有效钾含量缺乏, 不足 $80\mu\text{gg}^{-1}$ 。但历年来, 本区施肥重氮轻磷、钾, 造成作物营养失调。因此, 在适施氮肥的同时, 需增施磷、钾肥。

对微量元素而言, 变性土缺硼少钼十分突出, 有效硼平均含量只有 $0.149\mu\text{gg}^{-1}$, 有效钼平均含量仅 $0.064\mu\text{gg}^{-1}$, 都低于各自作物营养临界值(分别为 $0.5\mu\text{gg}^{-1}$ 和 $0.15\mu\text{gg}^{-1}$), 因而严重影响作物产量。但本区通常只施常规肥料, 而不用微量元素肥料。所以, 今后必须适当施用硼肥和钼肥。

(四)选择适宜作物

变性土的pH值在7.0—7.8, 代换性阳离子组成中钙和镁占很大比例, 分别是50—75%和23—46%, 这与红壤酸性强且以代换性铝为主的特性有着明显的差别。因此, 变性土不需施用石灰; 不宜种植茶树和马铃薯等喜酸作物, 而应选择喜钙的豆科作物种植。

(参考文献3篇略)。