

不同肥力红壤及其微团聚体的肥力特征*

武冠云

(中国科学院林业土壤研究所)

关于我国红壤的基本性质及改良利用,我国的土壤学家已作了大量研究,并取得了显著成果。本文仅以红壤作为土壤肥力实质研究中的一个代表性土类,就其肥力基础物质进行探讨,以便和其它土类进行比较,了解不同土类之间的共性或个性特征,以作为土壤肥力和培肥改土的指标。

一、供试土样及方法

供试土样均属第四纪红色粘土母质上发育的典型水、旱田红壤。各采样点分别选择了自然条件相同,肥力水平相殊的肥地和瘦地,共采集了八个样品进行比较研究。其基本情况列于表1。

表1 供试土样基本情况

采样地点	耕地类型	肥力水平	简称
江西红壤研究所	水田	肥地	江水肥
		瘦地	江水瘦
	旱田	肥地	江早肥
		瘦地	江早瘦
长沙农业现代化所	水田	肥地	长水肥
		瘦地	长水瘦
	旱田	肥地	长早肥
		瘦地	长早瘦

测定项目及方法如下:

1. 有机质用重铬酸钾法测定;代换量用EDTA-醋酸铵法测定;全氮用开氏法测定;水解氮用碱解扩散法测定;全磷用酸溶、钼锑抗比色法测定;速效磷用 $0.03N NH_4F-0.025N HCl$ 浸提,钼锑抗比色法测定;游离铁用DTPA提取,等离子体法测定。

2. 磷吸附量、解吸量及解吸率:用含磷(P)500—1,000微克的 $0.01M CaCl_2$ 溶液,

按水:土=20:1处理土样,振荡1小时,在 $30^\circ C$ 恒温下保温24小时,过滤,测定滤液中的含磷量,以原液含磷量减去滤液中的残磷量,其差值即为吸附磷量。向上述残土中加一定量 $0.01M CaCl_2$ 液,再振荡1小时, $30^\circ C$ 下保持24小时,再次测滤出液的含磷量,即为解吸磷量。解吸磷占吸附磷量的百分率即为磷解吸率。

3. 铵吸附量、解吸量及解吸率:用 $0.01N (NH_4)_2SO_4$ 溶液按20:1水土比处理土样,振荡30分钟后静置过夜,测定滤液中的含氮量,用原液含氮量减去滤出液含氮量即为吸附 NH_4-N 量。将以上土样用95%酒精洗涤3—4次,直至洗出液无铵离子(NH_4^+)为止(用奈氏试剂检查),加 $2N KCl$ (水:土为20:1),用细玻棒搅匀后离心,测滤液中的 NH_4-N 量,并从中扣除原土样的代换性铵量,即为铵的解吸量。解吸铵占吸附铵量的百分率即铵解吸率。

4. 土壤有机磷及无机磷形态分组用“土壤农业化学常规分析方法^[1]测定。

5. 不同结合形态腐殖质组分测定,用 $0.1N NaOH$ 浸提,提出的部分为松结合态腐殖质;

* 本研究是在陈恩风教授指导下进行的。王家勋、王虹、安桂茹、李荣华等同志提供了部分分析数据。

继用0.1N NaOH + 0.1M Na₄P₂O₇ · 10H₂O提取,得稳结合态腐殖质;残余土壤碳为紧结合态腐殖质。

6. 土壤微团聚体分级:将通过1毫米筛孔的土样,按5:1水土比配制成悬液,置 CFS-250C 超声波清洗器中,用300毫安30千赫兹超声分散30分钟后,把样品通过0.25毫米筛,洗入沉降缸,配制成4%悬液,按粒级大小的沉降时间,分别吸取悬液,干燥后称得各粒级微团聚体重量。

二、结果与讨论

(一)不同肥力水、旱田红壤的主要农化性状

根据红壤特点,将其主要农化性状分三个方面进行比较和讨论。

1. 一般农化性状(表2)。由表2可见,(1)土壤的碳、氮、磷贮量及有效氮、速效磷含量,皆以水田>旱田,肥地>瘦地。(2)水田表层土壤有效氮、速效磷含量显著高于底层;旱田土壤上下土层之间有效氮、磷含量的差异则不及水田明显。(3)土壤阳离子代换量皆以瘦地略高于肥地。(4)土壤表层游离铁含量皆以瘦地>肥地。(5) pH值皆以肥地高于瘦地。

表2 供试红壤一般农化性状

土壤	深度 (厘米)	pH	有机碳 (C,%)	全氮 (%)	全磷 (P,%)	水解氮 (毫克/100克)	速效磷 (P,毫克/100克)	代换量 (毫克当量/100克)	游离铁 (ppm)
长旱瘦	0—20	5.1	0.49	0.07	0.02	2.96	0.20	5.23	20.0
	20—30	5.9	0.30	0.03	0.04	3.76	0.73	6.68	
长旱肥	0—20	5.6	0.75	0.09	0.04	6.03	0.65	4.68	14.4
	20—30	5.7	0.53	0.06	0.06	6.15	1.04	6.66	
江旱瘦	0—20	5.1	0.81	0.10	0.04	3.23	0.39	9.49	17.5
	20—30	5.5	0.27	0.05	0.04	4.10	0.58	8.99	
江旱肥	0—20	7.2	1.08	0.12	0.04	7.21	1.13	7.48	11.5
	20—30	7.1	0.53	0.06	0.06	5.19	0.94	8.64	
长水瘦	0—20	5.3	0.70	0.09	0.04	7.04	3.46	5.25	20.9
	20—30	6.7	0.43	0.05	0.07	5.78	0.84	6.49	
长水肥	0—20	6.6	1.19	0.15	0.05	11.39	4.44	4.82	16.7
	20—30	7.5	0.53	0.05	0.04	5.06	1.36	5.94	
江水瘦	0—20	6.1	1.08	0.13	0.04	12.25	3.62	7.29	13.8
	20—30	7.5	0.37	0.03	0.08	5.82	0.60	7.92	
江水肥	0—20	5.4	1.71	0.21	0.07	17.30	5.97	7.02	13.7
	20—30	7.2	0.42	0.05	0.05	4.76	0.66	6.27	

水田表层土壤养分含量显著高于底层的原因,显然与水田有较粘重的犁底层有关。瘦地阳离子代换量略高于肥地的原因可能有二:一是瘦地红壤中含有较高量的游离铁,导致了阳离子代换量测定值偏高;二是肥土中含有较高的腐殖酸羧基(—COOH)功能团,能与铁离子起络合作用,从而降低了游离铁对阳离子代换量的影响。

2. 供试红壤的磷形态及其对磷肥的解吸率。磷素固定是红壤肥力中的一个特殊问题。红壤中磷的有效性不仅与磷素在土壤中的存在形态有关,而且和土壤对施入磷肥的解吸能力有关,因此,对不同能力红壤的磷形态及其对磷的解吸率进行了分析。

表3

供试红壤的不同形态磷素组成

土 壤	有 机 磷 (P)		无 机 磷 (P)		不 同 形 态 磷 占 无 机 磷 %			
	ppm	占 总 磷 %	ppm	占 总 磷 %	O—P	Ca—P	Al—P	Fe—P
长 早 瘦	153	24.6	469	75.4	49.1	8.44	1.21	41.2
长 早 肥	330	35.1	611	64.9	46.9	7.26	4.94	40.8
江 早 瘦	202	20.2	799	79.8	45.7	9.20	2.86	42.2
江 早 肥	307	29.6	729	70.4	43.7	16.22	7.69	32.4
长 水 瘦	263	21.5	962	78.5	49.7	6.42	1.21	42.6
长 水 肥	338	23.5	1101	76.5	46.5	26.50	4.79	22.1
江 水 瘦	357	27.0	967	73.0	53.8	8.05	2.66	35.4
江 水 肥	481	26.9	1310	73.1	42.8	9.96	6.31	40.9

注：O—P为闭蓄态磷；Ca—P为磷酸钙；Al—P为磷酸铝；Fe—P为磷酸铁。

由表3可见：(1)红壤无机磷约占有机无机磷总量的64.9—79.8%；有机磷量及其占总磷的百分率皆以肥地高于瘦地。(2)闭蓄态磷(O—P)是红壤无机磷的主要存在形态，约占无机磷量的50%左右，所有瘦地闭蓄态磷占无机磷量的百分率皆高于肥地。一般认为，红壤中的闭蓄态磷对植物是无效的，宋淑琼等证明^①，施用厩肥可使红壤闭蓄态磷占无机磷的比率明显降低，这也说明了瘦地有效磷较低的原因。(3)Fe—P约占无机磷量的30—40%，除江西水田外，皆以瘦地高于肥地。(4)Ca—P占无机磷的6.4—26.5%，Al—P仅占无机磷的1.2—7.6%，皆以肥地高于瘦地。

红壤对施入磷肥的解吸率可以反映红壤对磷素固定作用的大小，是用能量的观点来研究施入磷肥的有效度，并且假设吸附着磷及其它元素的土壤固相，是一个弱电解质，它可以随时解离出吸着的营养元素，其解离的程度既取决于某元素和土壤固相之间的结合能，也取决于土壤固相与液相之间的离子交换自由能。

表4为供试土样对铵和磷的吸附与解吸情况。由表4可见，供试红壤对铵和磷的吸附量皆以瘦地略高于肥地；解吸率则相反，皆以肥地高于瘦地，尤其是磷解吸率，约比瘦地高2—4倍。一些研究证明^②，土壤对铵、磷的吸附量和土壤粘粒的比表面积成正相关。肥土通常有机质含量较高，腐殖质和粘土矿物结合较多，占据了粘粒表面较多的活性吸附点，使吸附量相对地饱和。红壤中磷固定的主要原因是由于红壤中存在着较多的 $Al(OH)_2^+$ 、 $Fe(OH)_2^+$ ，以致使磷形成难溶性的磷酸铁、铝化合物。土壤腐殖酸的羧基功能团(—COOH)，具有平衡 $Al(OH)_2^+$ 及 $Fe(OH)_2^+$ 正电荷的作用。肥土较瘦土含有较高的活性腐殖质(表5)，不仅在一定程度上降低了红壤对磷的固定作用，而且还可以直接和磷

表4 供试红壤对铵、磷的吸附与解吸

土 壤	铵 吸 附 与 解 吸		磷 吸 附 与 解 吸	
	吸附量 (N, 毫克/ 100克)	解吸率 (%)	吸附量 (P, 微克/ 100克)	解吸率 (%)
长 早 瘦	30.9	64.4	30.1	7.99
长 早 肥	29.4	78.8	23.0	19.1
江 早 瘦	38.4	64.2	37.3	5.91
江 早 肥	36.5	81.9	24.0	21.7
长 水 瘦	36.8	71.9	41.2	4.13
长 水 肥	31.8	85.1	28.3	15.6
江 水 瘦	34.4	74.1	45.3	1.99
江 水 肥	33.1	78.9	39.1	7.69

注：解吸率% = 解吸量/吸附量 × 100

① 红壤磷素状况与磷肥有效性的研究，中国土壤学会，1979年论文集，第三集，124页。

② 朱荫溥，土壤对磷酸盐吸附作用的研究(摘要)，中国土壤学会，1983年论文集(下)，243页。

形成腐殖酸磷络合物，提高磷离子的交换自由能，这是肥土的磷解吸率显著高于瘦土的原因许绣云等还证明^[3]，肥土由于具有较合适的土壤物理条件，不仅能提高土壤自身的供磷能力，同时也提高了磷肥的效果。

3. 供试红壤腐殖质的结合形态特征。土壤腐殖质的结合形态不仅和土壤类型有关，而且随土壤肥力水平提高，也有较明显的变化。水、旱田红壤腐殖质的结合形态特征大体相似，皆以紧结合态腐殖质为主，占腐殖质总量的55—69%，其次为游离松结合态腐殖质，占总腐殖质质量的27—40%，稳结合态腐殖质组分很少(表5)。肥地和瘦地相比较，肥地不同结合形态

表5 供试红壤不同结合形态腐殖质组成

土 样	腐 殖 质 C %	松 结 合 态		稳 结 合 态		紧 结 合 态	
		C %	占总 C %	C %	占总 C %	C %	占总 C %
长 早 瘦	0.58	0.22	38.0	0.02	2.6	0.35	59.4
长 早 肥	0.85	0.34	39.6	0.01	1.6	0.50	58.8
江 早 瘦	0.87	0.23	26.4	0.04	4.8	0.60	68.8
江 早 肥	1.22	0.39	31.7	0.08	6.8	0.75	61.5
长 水 瘦	0.81	0.25	29.7	0.10	12.4	0.46	56.9
长 水 肥	1.34	0.41	30.8	0.13	9.8	0.79	59.4
江 水 瘦	1.12	0.35	31.4	0.17	10.3	0.65	58.3
江 水 肥	1.92	0.66	34.1	0.22	11.4	1.04	54.5

腐殖质的含量均高于瘦地；但各结合形态组分腐殖质占土壤腐殖质总量的百分率变化却不同；肥地松结合态腐殖质占总腐殖质的百分率均较高于瘦地；而紧结合态腐殖质占总腐殖质的百分率，则以瘦地>肥地(除长沙水田外)。说明肥地较瘦地含有较高的活化腐殖质和较低的紧结合态腐殖质组分。傅积平的研究结果也证明^①，随着土壤肥力的提高，稻田土壤中松结合态腐殖质组分增多，紧结合态组分减少，松/紧腐殖质组分比值有增大的趋势。

(二)红壤微团聚体组成特征及其在吸贮释供养分中的作用

在我们先前的工作^②中已经提到，由土壤有机矿质复合体结合而成的微团聚体，是构成土壤不同体质、体型的基础物质。它具有保持和自动调节土壤水、肥、气、热和影响土壤生物学活性等多方面的功能。凡微团聚体对自身和进入的营养物质及水分具有较大的吸贮、释供、转化和缓冲能力的，即不但吸贮、释供物质数量大、种类多，而且转化调剂补充的速度快、数量多的，这种土壤满足作物生长需要的能力强，土壤肥力就较高；反之，满足作物生长需要的能力就低，土壤就比较瘠薄。正是从这个意义出发，陈恩凤等提出了“土壤微团聚体组成可以作为评价土壤肥力水平的综合指标”。

1. 供试红壤微团聚体组成特征。供试红壤表层各粒级微团聚体组成见图1。由图1可见，在相同自然条件下，水、旱田红壤各粒级微团聚体组成大体相似；皆以0.05—0.25毫米的相对含量最高，占总量的50—60%，0.01—0.05毫米次之。但水、旱田肥、瘦地微团聚体组成成分不同：在水田中，与瘦地相比，肥地<0.001及>0.05毫米粒级微团聚体的数量较少，0.001—0.05毫米的较多；而在旱田里，各级微团聚体的数量分配恰好相反，肥地中<0.001及>0.05毫米粒级微团聚体的数量较瘦地高，0.001—0.05毫米的则较低。说明在旱作条件下，有利于较大粒级(0.05—0.25毫米)微团聚体的形成为肥地的特征；而在水作条件下，则以0.001

① 傅积平：复合胶体与水稻土肥力，中国科学院南京土壤研究所内部资料，1982。

② 陈恩凤等：微团聚体组成是评价土壤肥力水平的综合指标，中国土壤学会，1983年论文集(下)，263页。

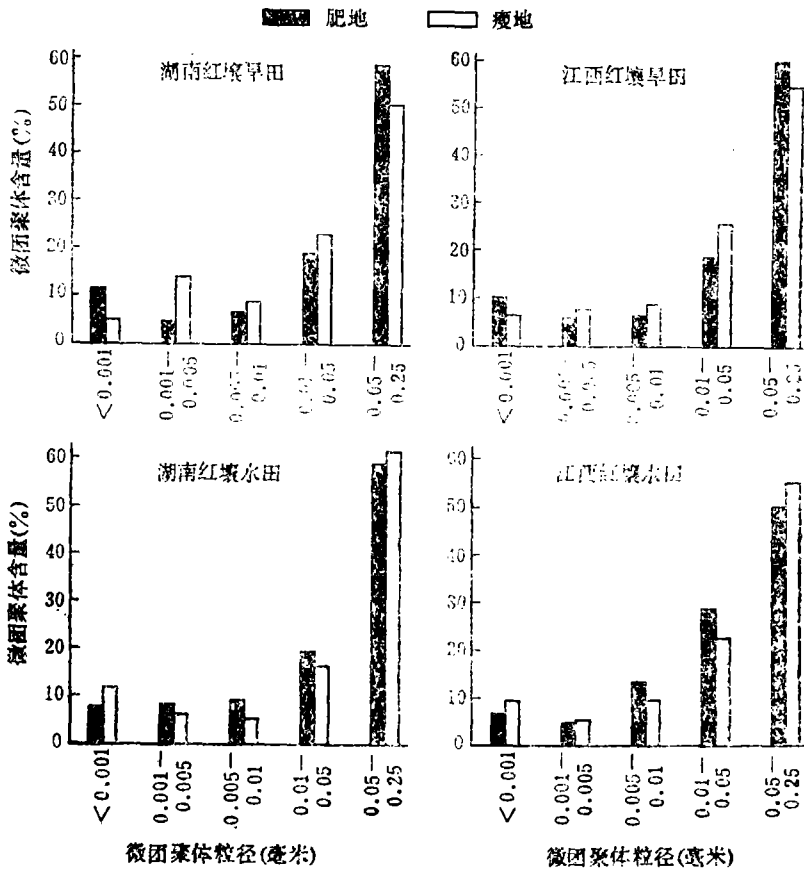


图1 红壤(0—20厘米土层)微团聚体组成

—0.05毫米粒级微团聚体的累积为肥地的特征。

2. 各粒级微团聚体的养分状况及其在供给作物营养中的贡献。由表6可见,所有供试土样微团聚体中的碳、氮、磷含量均以<math>< 0.005</math>毫米粒级较高,并随粒级增大而降低;肥地各粒级碳、氮、磷含量均显著高于瘦地各相应粒级。说明<math>< 0.005</math>毫米微团聚体是红壤碳、氮、磷营养物质的主要积蓄库。有效氮、磷在各粒级中的含量也是肥地>瘦地,但有效氮和有效磷在各粒级中的含量变化趋势恰好相反:有效氮含量随粒级增大而减低;而有效磷含量则随粒级增大而显著增高。这种相反的趋势表明,红壤各粒级微团聚体在提供土壤有效养分中的作用不同:<math>< 0.005</math>毫米粒级微团聚体在提供有效氮方面的贡献较大;而>0.005毫米微团聚体,特别是0.01—0.05毫米粒级微团聚体是土壤有效磷养分的主要给源。

各粒级微团聚体在提供有效氮、磷养分中的作用不同,和这两种元素在土壤中的贮量、分布和存在形态有关;土壤中90%以上的氮素是以有机态存在,且主要积聚在<math>< 0.005</math>毫米粒级中,在通常情况下,有机氮的矿化是土壤有效氮的主要给源。土壤中的磷素情况则不同,特别是红壤含磷量较低,无机磷是土壤有效磷的主要来源。据顾益初等对无机磷形态在各粒级中的分布及其有效性的研究结果^[4],在酸性土壤中,砂粒级部分以磷酸铁、铝的相对含量较高,而在粘粒部份中则以闭蓄态磷酸盐含量较高;在酸性土壤中,非闭蓄态的磷酸铁和钙盐都可能是有效磷的给源。从而间接地说明较大粒级微团聚体在提供土壤有效磷方面贡献较大的原因。

表6

红壤各级微团聚体的养分状况

养 分	微团聚体粒径(毫米)	长旱瘦	长旱肥	江旱瘦	江旱肥	长水瘦	长水肥	江水瘦	江水肥
C (%)	<0.001	0.93	1.53	0.99	1.70	1.20	2.06	1.46	2.43
	0.001—0.005	0.86	1.25	1.09	1.24	1.05	1.75	1.53	1.82
	0.005—0.01	0.64	0.92	0.83	1.18	0.80	1.52	0.95	1.68
	0.01—0.05	0.59	0.75	0.75	0.84	0.73	1.28	0.69	1.35
N (%)	<0.001	0.12	0.21	0.16	0.24	0.17	0.26	0.21	0.31
	0.001—0.005	0.12	0.16	0.14	0.17	0.15	0.22	0.20	0.22
	0.005—0.01	0.09	0.11	0.11	0.14	0.11	0.19	0.13	0.19
	0.01—0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.14	0.10	0.15
P (%)	<0.001	0.04	0.08	0.06	0.10	0.09	0.08	0.08	0.11
	0.001—0.005	0.04	0.05	0.05	0.08	0.01	0.07	0.07	0.09
	0.005—0.01	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.08
	0.01—0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
水解氮 (毫克/100克)	<0.001	9.7	18.3	12.6	20.0	16.0	25.2	15.9	25.6
	0.001—0.005	9.1	16.0	9.9	17.1	15.2	20.5	13.9	21.2
	0.005—0.01	5.9	10.1	3.8	5.1	8.7	14.3	4.5	8.0
	0.01—0.05	3.2	3.2	3.7	2.9	3.7	6.9	3.3	5.7
速效磷 (P,毫克/100克)	<0.001	0.23	0.60	0.50	0.90	0.40	0.90	0.20	0.30
	0.001—0.005	0.15	0.50	0.65	0.40	0.40	1.10	0.50	0.50
	0.005—0.01	0.40	1.30	1.70	1.80	1.40	5.00	0.30	2.00
	0.01—0.05	1.0	1.60	3.30	3.60	2.30	7.30	1.10	5.90

表7

微团聚体对磷的吸附、解吸量及解吸率

土 样	微 团 聚 体 粒 径 (毫米)											
	<0.001			0.001~0.005			0.005~0.01			0.01~0.05		
	吸附量	解吸量	解吸率 %	吸附量	解吸量	解吸率 %	吸附量	解吸量	解吸率 %	吸附量	解吸量	解吸率 %
江水肥	98.5	0.4	0.41	46.0	1.3	2.83	42.5	1.15	2.71	41.0	3.4	8.29
江水瘦	99.0	0.4	0.40	47.5	0.7	1.47	48.0	0.6	1.25	43.3	2.2	5.08
长水肥	97.5	0.8	0.82	44.5	1.5	3.37	43.5	2.8	6.44	38.0	4.4	11.57
长水瘦	99.0	0.4	0.40	47.5	0.7	1.47	47.0	1.2	2.55	43.5	2.6	5.98
江旱肥	97.0	0.8	0.82	46.3	1.0	2.16	44.5	2.0	4.49	31.5	4.8	15.23
江旱瘦	98.5	0.4	0.41	47.0	0.8	1.70	47.0	1.6	3.40	43.3	3.0	6.94
长旱肥	97.5	0.6	0.62	44.5	1.5	3.37	43.5	2.5	5.75	39.0	3.8	9.74
长旱瘦	99.0	0.4	0.40	47.5	0.7	1.47	45.0	1.9	4.22	41.3	2.2	5.33

注：吸附、解吸量单位为微克P/100克土；解吸率% = 解吸量/吸附量 × 100

各粒级微团聚体对磷素的吸附和解吸能力列入表7。由表7可见，供试红壤各粒级微团聚体对加入磷的吸附量以<0.001毫米粒级最高，有随粒级增大而降低的趋势；解吸量及解吸率则相反，有随粒级增大而显著增大的趋势。所有肥地和瘦地各粒级微团聚体对磷的吸附量皆以瘦地略高于肥地，解吸量则以肥地显著地高于瘦地，因此，肥地各粒级的磷解吸率均显著高于瘦地的各相应粒级。<0.001毫米粒级微团聚体的磷解吸率为0.4—0.82%；0.001—0.005毫米粒级的为1.47—2.83%；0.005—0.01毫米粒级的为1.25—6.44%；0.01—0.05毫米粒级的磷解吸率达5.08—15.2%。说明了较大粒级在调节供给磷素中的重要作用。

总之,红壤各粒级微团聚体在吸贮、释供及调节供给养分的功能不同:<0.005毫米粒级微团聚体中的碳、氮、磷养分贮量最高,是土壤有效氮养分的主要供给源;>0.005毫米,特别是0.01—0.05毫米粒级微团聚体,在提供土壤有效磷方面的贡献较大;对施入磷的解吸能力也较强;所有肥地各粒级微团聚体的上述功能均显著地高于瘦地的各相应粒级微团聚体。

三、小 结

(一)不同肥力红壤的主要特征

1. 全碳、全氮、全磷贮量及有效氮、磷含量皆以水田>旱田,肥地>瘦地;水田土壤上、下土层之间有效氮、磷含量差异显著,而旱田土壤则不及水田明显。土壤阳离子代换量、游离铁含量,以瘦地高于肥地,pH值以肥地大于瘦地。

2. 红壤中磷形态以无机磷为主,占总磷量的64.9—79.8%;有机磷及其占总磷量的百分率皆以肥地>瘦地。闭蓄态磷(O—P)是红壤中无机磷的主要存在形态,其次为磷酸铁(Fe—P),两者约占无机磷总量的70—90%,且皆以瘦地>肥地;磷酸铝(Al—P)含量较低,仅占无机磷总量的1.2—7.7%,一般是肥地>瘦地。红壤对铵、磷的吸附量皆以瘦地略高于肥地,但解吸率则相反,皆以肥地>瘦地,尤其是磷解吸率,肥地较瘦地约高二倍多,可以作为评价红壤肥力的指标之一。

3. 红壤中腐殖质结合形态以紧结合态为主,占腐殖质总量的55—69%,游离松结合态次之,占腐殖质总量的27—40%;肥地较瘦地含有较高数量的松结合态腐殖质,较低量的紧结合态腐殖质。

(二)不同肥力红壤微团聚体特征

1. 红壤微团聚体粒级组成中,以0.05—0.25毫米粒级的相对含量最高,约占微团聚体总量的50—60%;水、旱田的肥、瘦地微团聚体组成不同:在旱田条件下,有利于较大粒级(0.05—0.25毫米)的形成、累积为肥地的特征;在水田条件下,则以0.001—0.05毫米粒级的累积为肥地的特征。

2. 各级微团聚体中碳、氮、磷含量皆以肥地>瘦地,并以<0.005毫米粒级的碳、氮、磷含量最高;>0.005毫米粒级的碳、氮、磷含量有随粒径增大而降低的趋势;有效氮和有效磷在各粒级中的含量变化趋势恰好相反.<0.005毫米粒级微团聚体在提供土壤有效氮方面的贡献较大;而>0.005毫米,特别是0.01—0.05毫米粒级微团聚体是土壤有效磷的主要给源。肥地各粒级微团聚体的磷解吸率均高于瘦地,并以0.01—0.05毫米粒级之间的差异最大。

参 考 文 献

- [1] 顾益初等,土壤磷的分析。土壤农业化学常规分析方法(中国土壤学会农业化学专业委员会编),103—107页,科学出版社,1983。
- [2] 熊毅,有机无机复合体与土壤肥力。土壤,14(5):161—167,1982。
- [3] 许秀云,姚贤良,红壤的不同物理条件对磷素的扩散影响。土壤学报,21(2):1—9,1984。
- [4] 顾益初等,风化对土壤粒级中磷素形态及其有效性的影响。土壤学报,21(2):134—143,1984。