

# 红壤研究四十春\*

为庆祝建国40周年而作

石 华\*\*

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘要

本文介绍了南京土壤研究所建所以来在红壤研究工作中所取得的主要成果。

我所研究红壤始于1950年，当时根据国家经济建设的迫切需要，开展了以发展橡胶树栽培为目的的热带经济作物宜林地土壤调查，随后又开展了红壤资源调查，红壤区低产土壤调查；长江流域规划；山丘水土保持和省、县级土壤区划以及土壤普查等大规模的土壤调查与考察。之后，编制了不同比例尺的土壤图、土壤改良利用区划图等。同时也对红壤的性质、肥力进行了分析测定，对红壤资源进行了数量和质量评价。为国家和地方开发利用红壤以及改土施肥提供了科学依据，在生产建设中发挥了作用。

在上述工作的基础上，又相继开展了红壤的形成过程、发生分类、地球化学、基本性质和肥力特性等方面的研究，取得了大量科学资料，还先后发表了数百篇报告、论文。这些科研成果在我所编著的“中国红壤(1983)”、“华中亚热带土壤(1983)”、“中国红黄壤地区土壤利用改良区划(1985)”、“江西红壤(1988)”等专著中，均有所反映。

本文将对我所40年来在红壤研究方面所取得的主要成就进行总结，借以推动今后的研究工作。

## 一、红壤发生分类研究

研究表明，热带和亚热带地区红壤的形成是脱硅富铝与生物富集两种过程长期作用的结果，前者是红壤形成的基础，后者是红壤肥力的源泉。脱硅富铝化过程，是红壤的主要形成过程，也是红壤中发生的主要地球化学过程。在现代气候条件下，该过程仍在进行。脱硅富铝化过程的特点是，土体中硅酸盐类矿物强烈分解，硅和盐基遭到淋失，铁铝等氧化物明显聚积和粘粒次生矿物不断形成。

红壤的生物富集过程是在高温多湿条件下，繁茂的林草植被及其凋落物参与土壤生物物质循环的结果。绿色植物物质从凋落并参与土壤的富集过程后，其化学组成是不断发生变化的。绿色植物物质由鲜叶转为地表残落物的过程中，其氧化钙、氧化镁、氮、硫等元素不断

\* 文中红壤系指红黄壤各土类，下同；如红壤与其它土类同时并列时，则指狭义的“红壤”。

\*\* 龚子同、姚贤良、陈京坊、林心雄、尹瑞龄、曾如坤、谢建昌、赵家骅同志为本文提供了资料，谨致谢意。

淋失，而三二氧化物和二氧化硅等则相对累积。对红色风化壳的生物地球化学研究表明：风化壳的地球化学类型划分在红壤发生分类上具有重要的意义。作为形成红壤物质基础的成土风化壳在土壤分类中的位置并不是千篇一律的，应根据情况分别在土纲、土类或土属各级中划分出来，如铁铝阶段风化壳和铁硅铝阶段的风化壳，在属性上有重大区别。前者风化强度大，后者相对较弱。两者可在土纲一级上划分开来。前者为铁铝土纲，后者为铁硅铝土纲。热带亚热带土壤地球化学类型的划分对红壤土属的区分同样具有重要意义。

风化壳地球化学类型的划分不仅在土壤分类上，而且在土地利用上亦有应用价值。如铁质和铝质风化壳上形成的土壤通常严重缺钾，硼也不足，钼、铜的有效性低等等。

随着对土壤形成过程研究的不断深入和红壤特性方面的资料不断累积，红壤分类也有了较大的发展。在50年代以地理发生观点为基础的土壤分类中，红壤只划分出两个土类——红壤和黄壤，下分为4(5)个亚类；在60年代红壤则划出砖红壤、红壤、黄壤、红褐土4个土类，下分为11个亚类；在1978年全国土壤分类会议上，将砖红壤性红壤简称为赤红壤，并明确了燥红土的土类地位，同时亚类数量大为增加。70年代以来，随着国际上土壤系统分类的兴起，从1985年开始，我所土壤地理工作者以土壤诊断层和诊断特性为基础提出了我国土壤系统分类，在这一分类中将红壤分为7个土类和近30个亚类，这个分类虽然尚未在实践中被广泛采用，但它代表了土壤分类的发展方向。至于红壤的基层分类，尚有待进一步研究。

## 二、红壤物理性质研究

红壤荒地开垦后，由于无定形铁铝氧化物的不断淋失和粘粒活度（塑性指数/粘粒含量）的不断增加等原因，土壤结构的稳定性日益下降，因此，在不合理的耕作情况下红壤表土常出现板结。在红壤地区，由南而北（从砖红壤到红壤），土壤中的无定形 $R_2O_3$ 逐渐下降，而粘粒活度则不断上升，由无机胶结物所形成的结构稳定性也逐渐变弱，但由于有机胶结物组成中胡敏酸和富里酸的比值却由南往北逐渐增加，因此，只要土壤中具有一定数量的有机质，特别是较新鲜的有机质，则土壤结构的稳定性便得以保持。

不少红壤荒地的表面有一层1—2厘米厚的结壳，它严重影响水分的入渗。即使在雨季，也难以使深厚的土层接纳较多的贮水以供旱季使用。红壤的持水性虽然较高，一般粘质红壤的田间持水量可达30%以上，但因其萎蔫含水量较高（有时达20%以上），有效水范围很窄，一般在10%左右，即使在有效水范围内，含水量稍下降，则土壤水的供应效果将明显下降。无论从土壤有效水的供应容量或供应强度来看，它都对植物根系吸收土壤水分不利。因此，对红壤而言，即使在雨季，若数日不雨，也易出现旱象，在旱季，旱情当然会更为严重。

红壤中稳定性微团体量含较高，粘粒活度低，土粒间的粘结力对抗剪强度的影响较小，因而耕作性能通常尚好。但当耕层结构遭到严重破坏，粘粒的活度增加，其耕性将迅速恶化，形成“天晴一把刀，雨后一团糟”的特性。

在土壤结构好的红壤上，水分的入渗率较高，蒸发量较低，有效水的范围较宽，对磷的固定量则大大降低，而对氮的保持率则大大提高。因此，保持和改善红壤结构，在一定程度上能改善红壤的水分物理性质和提高养分的利用率。

### 三、红壤物理化学性质研究

红壤含有相当数量的交换性铝。研究表明，只要红壤pH<6.4则有交换酸度存在，其中交换性铝在多数情况下占交换性酸的97%以上。大量分析结果还表明，砖红壤的交换性铝含量最低，仅0.6me/100g土，而赤红壤、红壤和黄壤依次分别为5.3、6.2和7.6。各土壤的交换性铝的活度变动在30—97%之间，土壤粘粒矿物为水云母时，活度则较高；为高岭石时则较低。最近研究表明，交换性铝不是以 $\text{Al}^{3+}$ 离子存在，而是以 $\text{Al(OH)}_{n(3-n)}^+$ 的羟基铝单体存在的。对10个不同母质发育的红黄壤n值的测定表明，它们在0.1至1.2之间，且与土壤 $H_{\text{ccl}}$ 呈极显著的直线正相关( $r = 0.932^{**}$ ,  $n = 10$ )。

红壤的有效阳离子交换量(ECEC)总比醋酸铵法的测得的阳离子交换量(CEC)为低。统计表明， $ECEC = 2.33 + 0.37CEC$  ( $r = 0.76$ ,  $n = 53$ )。研究得知，红壤从醋酸铵溶液中吸附铵离子并不完全属交换反应，其中部份易于解吸，另一部份则只能在碱性条件下蒸馏而出。应用甲醛法对红壤的NaCl提取液研究证明，前者是以 $\text{NH}_4\text{OH}$ 形态进入提取液的，后者即以 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 形态进入。两者比例与氧化物含量相关。而ECEC/CEC的比值则与土壤氧化铁含量的对数值呈负相关 ( $r = -0.754$ ,  $n = 36$ )。

红壤对磷酸有极大的吸附量，且与游离氧化物含量密切相关。在去除红壤中的氧化铁后。其吸磷量则可下降23—74%。红壤中的交换性铝在吸磷过程中也有积极的作用。

红壤粘粒部份的氧化铁含量大约在5—25%之间，主要取决于成土母质和成土环境。它是红壤中可变电荷和羟基化表面的主要载体，也是导致红壤在吸附性能上有上述特点的根本原因。据测定，红壤粘粒部份的永久负电荷量决定于粘土矿物的组成。但氧化铁对其它矿物的电荷性质有一定的影响。例如，红壤在去除氧化铁之后，在pH4.1—5.1时，粘粒的净负电荷均有所增加。红壤的羟基释放量也比黄棕壤等土壤为高，且与游离氧化铁含量呈正相关。研究表明，羟基化表面离子化是红壤产生可变电荷的根源；活性羟基的释放则是红壤能与多价含氧酸根发生配位体交换的根本原因。而羟基上质子的解离则是红壤对重金属离子偏好的重要原因。

多年来的研究结果还证明，高温和充足水分使得红壤中的物理化学反应进行得较为迅速。当红壤所处的环境条件发生改变后，红壤中的一系列化学过程也迅速改变，而且常常导致一些重要的后果。例如，红壤的酸度或氧化还原状况极易因施用石灰或控制水分而发生剧烈的变化而使电荷性质明显改变。因为当红壤由自然条件下的pH升至pH 7时，红壤和赤红壤的净电荷约增加60%，砖红壤增加一倍以上，这样，土壤对阳离子、阴离子的吸附量和吸附强度都随之改变。这些物理化学性质的改变，在土壤发生和作物生长上都有很重要的意义。

在红壤地区，由北而南(从红壤到砖红壤)，土壤中的云母含量在减少，氧化铁矿物及高岭石在增加。而赤红壤中的水云母则所剩无几，但高岭石占绝对优势，三水铝石有多有少。砖红壤的特点是氧化铁矿物很多，其它矿物与赤红壤无大区别，只有发育于基性岩风化壳上的砖红壤才经常伴有较多的三水铝石。随着水热作用的加强，粘粒的含量和高岭石的结晶度增高，而其硅铝率、含钾量和阴离子交换量则逐渐降低。

在红壤地区，土壤矿物组成受海拔高度的影响较明显。山地黄棕壤含有不少水云母和蛭石，表层常有蒙皂石生成；山地黄壤以高岭石、蛭石和三水铝石为特征矿物，剖面内铁铝氧

化物矿物分异非常突出，山地赤红壤具有山地黄壤与平地赤红壤的过渡性；处于干热河谷的褐红壤和燥红土非但没有三水铝石，甚至连水云母和蛭石也比赤红壤和红壤多得多。

母质对红壤中粘土矿物组成的影响与矿物风化和剖面发育程度有关。

在土壤环境保护研究方面，我们先后研究了广州地区土壤中Ce、Na、Sm、Gd、Dy、Er、Yb等稀土元素的分布及矿物风化和成土作用对稀土元素分布的影响；湘江流域土壤中Cd、As、Be等10余种元素的概率分布以及该流域土壤中有机氯农药残留分布规律和异构化特征等。

#### 四、红壤有机质研究

在自然植被下，红壤、砖红壤的有机C含量平均为2.4%。红壤旱地的含C量约1.2%，红壤水田平均约1.6%。从全国耕地土壤的有机质含量状况看，红壤地区属于含量较高的地区之一。红壤地区各土壤中的N含量大体上与C含量变化呈相同的趋势。水田土壤中大约有91%的S存在于有机质中。

红壤表土中碳水化合物含量约占有机质总量的16—25%，各种单糖中以葡萄糖为最多。表土中氨基糖N和氨基酸N分别占全N含量的1—7%和20—41%；NH<sub>4</sub>-N含量变动在27—50%间，似略高于其它土类。固定态NH<sub>4</sub>仅占全N的1.5—5.0%

砖红壤的腐殖质组成中以富里酸为主，表土中的HA/FA比值一般在0.45以下，心土和底土多在0.25以下，胡敏酸大多为活性胡敏酸。红壤中富里酸的相对含量较砖红壤低。在旱地条件下，由于土壤水分和盐基饱和度的变化，使得腐殖物质的分子量和芳构化度变大，表现在旱地土壤的HA/FA比值和胡敏酸光密度常较自然植被下的土壤大。与自然土或旱地土壤相比较，红壤性水稻土的HA/FA值常较高。此外，红壤的腐殖质较简单，活动性也较大；砖红壤的腐殖物质最简单，活动性最大。

研究还表明，砖红壤在开垦9—11年后，表土中有机质含量减少13—62%，平均减少38%。通常认为，热带亚热带土壤开垦后有机质含量的迅速下降主要是由于本区温度较高所致，但水分状况、土壤性质等因素对提高有机物质的分解速率也有影响。

在研究旱地土壤中有机物质的分解速率时我们曾观察到，较难分解的植物物料如芒箕等，在海南岛的旱地土壤中的分解速率虽较在南京旱地的显著地高一些，但对较易分解的植物物料如飞机草（俗称）来说，在两地的分解速率却无任何差异。看来，由于土壤性质的不同，即使是同一植物物料，它们在南亚热带和热带土壤中的分解速率，并不一定要比北亚热带土壤中的快。最后应该指出的是，土壤侵蚀是红壤开垦后有机质含量迅速下降的又一重要原因。

#### 五、红壤微生物研究

红壤微生物学的基本特征是：（1）微生物数量较少。例如，广东徐闻砖红壤的微生物总数为556.6万/克干土；江西甘家山红壤的微生物总数为187.5万/克干土，它们都远低于黑土等土类；（2）真菌数量相对较高。由于红壤酸性强（pH4.5—5.5），有利于真菌的生长，因而真菌数量相对高于其它非酸性土壤。红壤的真菌/细菌比值一般在20以上，个别土壤可高达70—100以上；（3）有明显的雨、旱季的变化。红壤在雨季期间的微生物数量约5—6倍于旱季；（4）在微生物组成上有一定的特征性。就细菌而言，以蜡质芽孢杆菌为主；放线菌以灰

褐类群和金色类群占优势，真菌则以曲霉、青霉、镰刀霉、木霉和毛霉具多。

新近研究表明，红壤荒地的微生物数量和酶活性均较低，但随耕种时间的增长，土壤的细菌数量、氧化强度和解磷酶活性都有所提高。红壤的微生物状况受土壤的利用时间长短影响较明显。红壤荒地开垦后，随着利用年限的延续，土壤微生物数量在不断地增多。结果表明，垦前红壤荒地的微生物总数仅188万/克干土；开垦5年为364万/克干土；开垦20年为<sup>4</sup>61万/克干土；开垦70—80年为583万/克干土；开垦百年以上者为817万/克干土。显然，微生物数量的增加是与频繁的耕作和施肥分不开的。

红壤的熟化程度也影响微生物的状况，研究表明，只有在高度熟化的土壤中，才能见到，纤维分解菌的存在；红壤的氧化强度和呼吸强度也是随熟化度而提高的。至于红壤的硝化率它不仅与土地利用方式有关，还与施用的氮肥品种有关。

此外，我们还对微生物制剂，如根瘤菌剂、溶磷菌剂等在红壤中的应用进行了研究，取得了一些令人满意的结果。对红壤中VA土著菌根菌对作物的自然侵染率及接种后对侵染作物生长的影响也进行了研究，取得了一些结果。

## 六、红壤的植物营养化学研究

红壤旱地是我国含磷量最低的土壤， $P_2O_5$ 可以低到0.02%以下。母质对红壤全磷含量有重大影响，通常，玄武岩发育的砖红壤全磷( $P_2O_5$ )含量可以高达0.17%，但其有效磷很低。红壤性水田的磷素状况则与红壤旱地不同，土壤淹水后，磷的有效性明显增加。因此，水稻一般属于对磷肥无明显反应的作物。但当水田落干时，土壤有效磷含量又趋下降。因此，在红壤旱地上栽培豆科绿肥作物时，施用磷肥是取得大幅度增产的主要措施。并且据此而发展成为“以磷换氮”和“旱重水轻”的施磷技术。

水稻土淹水后，其有效磷的含量是与土壤中磷酸铁的含量成正比的，而且还和作物吸磷量及土壤“A”值都有显著相关。据此，我们提出了在南方水稻土中，磷酸铁在水稻磷素营养上的重要意义，这一认识在国际上也是属于比较早的。

红壤和红壤性水稻土也极度缺氮，配施氮肥可以大大提高磷肥的效果，这就是我们在6年代初提出的“氮磷配合”作为施用磷肥的原则的依据。这一原则大大提高了磷肥的效果。

在对我国土壤磷素形态进行详细研究后发现，随着土壤风化程度的加深，土壤中闭蓄态磷明显增加，而磷肥钙盐显著减少。因此，我国红壤磷素形态的基本特点是闭蓄态磷多，而磷酸钙盐少。这是由于溶性磷肥施入红壤后，大部份可转化为磷酸铁、铝，这些磷盐可进一步向闭蓄态磷转化，从而导致红壤中以闭蓄态磷为主的状况。

在已有五年利用历史的土壤上进行的田间试验证明，不施磷肥的土壤(对照处理)，其各种形态的磷都有所下降，表明磷的形态和有效性大小之间只有一个粗略的定性意义。

研究还表明，土壤在利用过程中，其有效性磷可以在较短的时间(几年)内发生很大的变化，以致使原来缺磷的土壤因不断施磷而变为不缺磷的土壤；而原来不缺磷的土壤，由于长期不施磷肥，而成为缺磷土壤，这也是造成南方有的地方磷肥肥效下降，而北方一些地方缺磷面积扩大的原因。

早在50年代末，我们就对红壤区土壤中含钾矿物在不同粒级中的分布情况及其转化规律进行了研究。以后又进一步研究了含钾矿物的分布，特别是红壤的含钾矿物的钾素释放与供钾能力的关系。根据土壤中 $<2\mu$ 颗粒中的云母含量可以得出较好的供钾参数。研究表明，我

国红壤普遍缺钾，其主要原因一是含钾矿物少，二是含钾矿物性质特殊。

对全国各种土壤的供钾潜力进行研究后发现，砖红壤(除花岗岩、变质岩发育者外)和赤红壤是我国最缺钾的土类，红壤、黄壤的供钾潜力也属于低或极低水平。

60年代初，我们阐明了缺钾是造成橡胶树发生黄叶病的主要原因，并建议普遍施用钾肥。在60年代中期至70年代初，我们又在砖红壤地区的农田上进行了水泥窑灰钾肥推广试验和大面积的钾肥推广示范，均取得较好的经济效益和社会效益。

红壤极度缺硼。栽培在红壤上的油菜、大豆、花生、柑桔等作物对硼肥有良好反应。研究还证明，除花岗岩、石灰岩母质发育的红壤外，其它母质发育的红壤一般均缺钼，尤其是花生、大豆、柑桔等作物在施钼肥后增产幅度均较大。

发育在质地较粗的花岗岩、砂岩、河流冲积物母质上的红壤和红壤性水稻土虽然缺硫，但随化肥、有机肥施入土壤中的硫以及降雨、灌溉水带入土壤中的硫足以满足作物对硫的需要，不专门施用硫肥尚不致对农作物产量造成不利的影响。

目前，我所的红壤研究工作正向以研究红壤生态系统的特点为重点，创建立体农业，形成对红壤多层次的综合开发利用的体系发展。具体地讲，就是在红壤地区开展区域生态建设和复合生态的研究，将农、林、牧、副、渔作为一个生态系统看待，研究其内部的营养物质循环与互补作用，以增加生物产量与改善生态环境，试图找出多种最佳模式，以利红壤山丘的综合利用开发，发挥更大优势。

为此，我所在“中国科学院红壤生态实验站”开展了适合红壤地区的多种生态建模(型)试验，如多层多种经济林木和作物生态模式试验；农、林、草、牧、渔建模试验。对实验站周围的村民则通过贷款和技术投入方式及将已有的科研成果和较好生态模式(如“一丘多用”，“多层次利用”等)向他们进行示范推广。在站内，还对碳、氮、磷、硫等元素在红壤中的循环进行长期定位试验，还通过集水区、排水采集器等手段对物质循环及其演变规律进行长期研究，以期在红壤研究上取得更深入的结果，提高红壤的研究水平，使红壤在农业生产中充分发挥其应有的作用。

## 新书预告

由徐盛荣教授编著的《卫星图象土地资源解译制图》一书即将由农业出版社出版。

全书共九章。第1,2章，卫片解译的理论基础，以及陆地卫星、SPOT卫星对地面信息的获取、传输与处理；第3,4章，土地资源形成因素与土壤剖面性态研究；第5章，国内外几种主要的土地与土壤分类理论、系统及应用；第6,7章，卫片目视解译和数学图象自动识别技术；第8章，卫片土地资源解译制图的方法、程序；第9章，卫星图象对土地与农业自然资源变异的定位监测。可供高等院校地理、土地和土化专业师生及从事土地资源管理人员使用。

需订阅者请与南京农业大学土化系邹家珍同志联系。