

# 华南热带土壤养分含量状态及肥力评价\*

何电源

(中国科学院长沙农业现代化研究所)

华南热带亚热带地区,广泛分布着红壤、黄壤、赤红壤、砖红壤以及在这些土壤上发育的水稻土。这个地区年平均气温在17—25℃之间,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的年积温为5000—9500℃,其中赤红壤和砖红壤地区,年平均气温在21℃以上,  $\geq 10^\circ\text{C}$  年积温达7100—9500℃之间,年降雨量在1500毫米以上,是我国发展热带、亚热带经济作物和林果木的良好基地,也是发展以水稻为主的粮食作物的好地方<sup>[1,7-9]</sup>。

在五、六十年代间,我们对热带土壤的肥力及其与橡胶树等热带作物生长的关系进行过一系列的调查和试验研究<sup>1)</sup>。近年来又进行了一些研究,现就热带土壤中的营养元素的含量、状态与作物生长的关系作一小结,并以此为依据,加上近年来的部分研究资料,共同对土壤肥力作一评价。

## 一、热带土壤中的主要养分含量和形态

### (一) 氮

华南土壤中氮和有机质的含量都与地面植被的好坏密切相关。在热带雨林、季雨林、竹林和高草植物群落下,土壤有机质含量一般在3%以上,高的可达13%,土壤含氮量一般在0.12—0.3%,高的可达0.41%,这类土壤开垦种植橡胶树,若植胶树时采用表土回穴,则氮肥对幼树的效果不大。

在次生森林、高灌木和中草植被下的砖红壤和赤红壤,土壤的有机质含量一般在1.7%以上,高的可达3%,土壤含氮量在0.07%以上,高的可达0.2%左右。这种土壤开垦植胶初期,有机肥和氮肥对橡胶幼树的效果也不够明显。

在稀疏矮灌木、矮草、芒箕和岗松等植被下的砖红壤和赤红壤中,土壤含有机质在0.3—1.6%之间,含氮在0.03—0.1%之间。这些土壤由于植被稀疏,易受侵蚀,肥力是相当低的。土壤经开垦植胶,橡胶幼树对有机肥及氮肥的反应是极为显著的。每株施用10斤堆肥和0.25斤硫酸铵的橡胶幼树,比不施肥的高60—120%。成龄胶树叶片含N 2.6—2.7%之间,比需施氮肥的临界指标低0.6—0.7%<sup>2)</sup>。

发育于不同的红壤和砖红壤上的水稻土,由于水耕熟化的作用,一般比附近的旱作土壤含N量要高一些,平均含N 0.15%左右,在一年多熟的耕作制下,施用氮肥仍是作物增

\* 本文主要根据作者在中国科学院南京土壤研究所未发表的资料整理而成。参加工作的有中国科学院南京土壤研究所农化、生化、地理、地化研究室的有关同志,谨此致谢。

1) 何电源, 1979: 华南热带土壤肥力特性及培肥途径(总结资料)。中国热带作物学会成立大会汇刊。  
2) 黄宗道, 1979: 橡胶、热带作物科技发展概况。中国热带作物学会成立大会汇刊。

产的重要措施之一。

在热带、亚热带高温高湿的条件下,在通气良好的旱作土中,有机质和含N化合物的分解和消耗是极为迅速的。因此,旱作土中的含氮化合物都比较低,一般含N 0.05%以下,是严重缺氮的土壤。

我们曾用2N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和6N HCl水解各种土壤中的含N有机物,前者可水解出来的N远低于后者。但二者水解出来的各组分的N的比率却有相似之处。

不同土壤类型中N的含量和形态有很大的差异(表1),如以6N HCl能水解出来的N作为比较易于分解供植物利用的N,不能水解的残渣N代表杂环N和粘土矿物固定态N等。从表1中可以看出,不同土壤的水解总N量为30—160毫克/100克土,约占全氮的30—80%,平均67±14.8%,值得指出的是旱耕土壤含氮量虽低,但残渣N却占全N的41—69%。可见易于分解的含N有机物在旱耕条件下消耗之迅速。橡胶园土壤的残渣N也占全N的53%,但全氮量达0.23%,为次生雨林的1.6倍,因此足够作物对氮的需求。

## (二) 磷

砖红壤和赤红壤中磷的含量与成土母质的关系很大,玄武岩风化体发育的砖红壤,全磷含量在0.07—0.24%之间,是华南土壤中全磷含量最高的一类土壤,片岩和沙岩发育的赤红壤和砖红壤中,全磷含量在0.02—0.15%之间,花岗岩和浅海沉积物发育的砖红壤和赤红壤,全磷含量在0.02—0.11%之间,是华南含磷量最低的土壤。

土壤有机态磷的含量,因生物活动的强弱而不同,在有机质含量较高的表土层或耕作层中,有机态磷约占全磷的20%左右;在水稻土中可达25—30%。

砖红壤和赤红壤中的无机磷,因土壤类型和耕作利用方式不同而有较大的差异,铁质砖红壤的无机磷可达680 ppm,花岗岩发育的赤红壤一般含磷较低,但在耕作施肥的影响下,赤红壤旱耕地和水田中的无机磷可达540—670 ppm左右,在无机磷酸盐中,为氧化铁胶膜包被的闭蓄态磷占全磷的70—92%,磷酸铁占10—20%,磷酸钙占1—10%,磷酸铝只占5%以下。值得注意的是,砖红壤和赤红壤改为水田后,磷酸铁的比例增大到占全磷的40%左右,而闭蓄态磷则下降为只占全磷的50%左右(表2)。第四纪红色粘土发育的红壤虽然差异没有这样明显,但也表现出类似的趋势。

土壤无机磷的状态,受红壤中活性铁、铝的影响极大,不同成土母质发育的砖红壤和赤红壤中,磷酸铁的含量占无机磷总量的65—96%,磷酸铝的含量占无机磷总量的5—20%,磷酸钙的含量占无机磷总量的1.3—15.7%。胶园土壤施用过磷酸钙和磷矿粉后,使土壤中的无机磷总量增加3—6倍,但所加入的溶性磷肥与土壤相互作用之后,几乎都转变成磷酸铁,使胶园土壤中磷酸铁占无机磷的比例,与森林土壤的比例相近,甚至更高。

由于华南土壤中的无机磷大部分都呈无效状态,因此,砖红壤和赤红壤开垦种植胶树后,除了含有机质和有机磷较高的森林土壤外,施用磷肥一般都有明显效果。一些胶园虽然多年施用磷肥,但成龄橡胶的叶片含磷(P)量仍低于需施用磷肥的临界指标(0.21—0.23%)<sup>1)</sup>,所以还是需要施用磷肥以增加胶树的生长和产量。

1) 黄宗道, 1979: 橡胶, 热带作物科技发展概况。中国热带作物学会成立大会汇刊。

表 1 华南主要土壤类型中  
Table 1 The content and form of N in

| 采样地点<br>Sampling<br>locality                    | 土 壤<br>Soil type                              | 植 被<br>Vegetation                           | 全 氮<br>(mg/100g<br>soil)<br>Total N | NH <sub>4</sub> -N |     | 水解总氮<br>Hydrolyzable N |      |
|---|---|---|-------------------------------------|--------------------|-----|------------------------|------|
|   |   |   |                                     | I                  | II  | I                      | II   |
| 云南大勐龙<br>Damenglong,<br>Yunnan                  | 砖红壤<br>Laterite                               | 热带雨林<br>Tropical rain<br>forest             | 340.7                               | 6.4                | 1.9 | 191.3                  | 56.1 |
| 广东海南岛儋县<br>Dan Xian,<br>Hainan Dao<br>Guangdong | 硅铝质砖<br>红 壤<br>Siallitic<br>laterite<br>soil  | 热带次生雨林<br>Secondary tropical<br>rain forest | 140.9                               | 3.4                | 2.4 | 111.4                  | 79.1 |
|   |   | 橡 胶 园<br>Rubber trees                       | 227.9                               | 3.5                | 1.5 | 106.3                  | 46.6 |
|   |   | 旱地农作物<br>Upland crops                       | 74.6                                | 1.5                | 2.0 | 22.9                   | 30.7 |
|   | 赤土田<br>Paddy soil<br>on ferric<br>laterite    | 水 稻<br>Rice                                 | 147.1                               | 3.9                | 2.7 | 105.8                  | 71.9 |
| 广东化州<br>Huazhou,<br>Guangdong                   | 硅铝质砖<br>红 壤<br>Siallitic<br>lateritic<br>soil | 岗松, 白花草<br>Bacckea sp., grass               | 140.6                               | 7.6                | 5.4 | 106.9                  | 76.0 |
|   |   | 旱地农作物<br>Upland crops                       | 47.5                                | 1.9                | 4.0 | 32.0                   | 67.4 |
|   | 赤土田<br>Paddy soil<br>on ferric<br>laterite    | 水 稻<br>Rice                                 | 143.8                               | 4.4                | 3.1 | 102.3                  | 71.1 |
| 广西灵山<br>Lingshan,<br>Guangxi                    | 赤红壤<br>Lateritic<br>soil                      | 岗松, 芒箕<br>Bacckea sp., etc.                 | 156.8                               | 100                | 6.4 | 123.8                  | 79.0 |
| 福建韶安<br>Shaoran,<br>Fujian                      | 赤红壤<br>Lateritic<br>soil                      | 岗松, 芒箕<br>Bacckea sp., etc.                 | 188.5                               | 6.4                | 3.4 | 153.2                  | 81.3 |
| 广东信宜<br>Xinyi,<br>Guangdong                     | 黄 壤<br>Yellow<br>earth                        | 禾本科高草, 灌木<br>High grass, shrub              | 322.4                               | 109                | 3.4 | 256.8                  | 79.7 |
| 广西十万大山<br>Shiwan Da-<br>shan, Guangxi           | 黄 壤<br>Yellow<br>earth                        | 禾本科高草<br>High grass                         | 304.8                               | 145                | 4.8 | 206.1                  | 67.6 |
| 广西百色<br>Baise,<br>Guangxi                       | 红 壤<br>Red earth                              | 草 地<br>Grass                                | 248.3                               | 3.2                | 1.3 | 163.3                  | 65.8 |

注: (1) 水解总氮的测定方法: 用 6 N HCl 按土:酸 = 1:5, 沸水浴水解 12 小时过滤, 分别测定水解液及残渣  
(2) I—毫克/100 克土, mg/100g soil; II—占全 N%, % of total N。

旱耕地和水田中, 由于耕作、施肥措施改变了土壤的条件, 使磷酸铝盐和磷酸钙盐的含量和比例有所提高, 尤其是在土壤淹水季节, 磷酸亚铁盐的浓度增加, 因此磷肥是否需要施用, 必须看土壤状况和作物种类而定。

**N 的含量和形态**

main soil types of South China

| α-氨基 N<br>N-α-Amino-group |      | 氨基糖 N<br>N-Amino-sugar |     | 酰胺 N<br>N-Amide |      | 水解未检定性 N<br>Hydrolytic N<br>had not qualitative<br>analysis |      | 残渣 N<br>N-remains |      |
|---------------------------|------|------------------------|-----|-----------------|------|---|------|-------------------|------|
| I                         | II   | I                      | II  | I               | II   | I   | II   | I                 | II   |
| 116.2                     | 34.1 | 20.0                   | 5.9 | 32.2            | 9.5  | 16.5  | 4.8  | 149.4             | 49.3 |
| 63.1                      | 44.8 | 10.9                   | 7.7 | 19.6            | 13.9 | 14.4  | 10.2 | 29.5              | 20.9 |
| 58.1                      | 25.5 | 9.1                    | 4.0 | 18.4            | 8.1  | 17.2  | 7.5  | 121.6             | 53.4 |
| 10.6                      | 14.2 | 1.3                    | 1.7 | 4.2             | 5.6  | 5.3   | 7.1  | 51.7              | 69.3 |
| 52.3                      | 35.6 | 7.3                    | 5.0 | 16.1            | 10.9 | 26.2  | 17.8 | 41.3              | 28.1 |
| 53.5                      | 38.1 | 8.6                    | 6.1 | 13.6            | 9.7  | 23.6  | 16.7 | 33.7              | 24.0 |
| 11.6                      | 24.4 | 3.2                    | 6.7 | 5.7             | 12.0 | 9.6   | 20.2 | 15.5              | 41.5 |
| 53.4                      | 37.1 | 5.8                    | 4.0 | 17.0            | 11.8 | 21.7  | 15.1 | 41.5              | 28.9 |
| 88.7                      | 56.6 | 13.3                   | 8.5 | 10.7            | 6.8  | 1.1   | 0.7  | 33.0              | 21.0 |
| 109.4                     | 58.0 | 15.4                   | 8.2 | 21.6            | 11.5 | 0.4   | 0.2  | 35.3              | 18.7 |
| 143.4                     | 44.5 | 27.9                   | 8.7 | 39.7            | 12.3 | 34.9  | 3.8  | 65.6              | 20.3 |
| 130.3                     | 42.8 | 25.8                   | 8.5 | 28.5            | 9.4  | 7.0   | 2.3  | 98.7              | 32.4 |
| 84.3                      | 34.0 | 17.0                   | 6.9 | 43.6            | 17.6 | 15.2  | 6.1  | 85.0              | 34.2 |

中的 N, 水解总 N 包括  $\text{NH}_4\text{-N}$ , α-氨基, 酰胺 N 及水解未检定性 N。

**(三) 钾**

土壤中钾的含量和状态受成土母质的种类、风化程度、土壤发育程度、地面植被及土壤耕作管理等因素的影响极大, 高度风化的花岗一片麻岩, 浅海沉积物, 玄武岩和凝灰岩

表 2 砖红壤、赤红壤、红壤和水稻土中磷的形态  
Table 2 The forms of phosphorus in laterite, lateritic soil, red earth and paddy soil

| 采样地点<br>Sampling locality        | 成土母质<br>Parent material               | 土壤类型<br>Soil type                                   | 土壤全磷<br>( $P_2O_5$ , ppm)<br>Total $P_2O_5$ | 无机磷总量<br>( $P_2O_5$ , ppm)<br>Inorganic $P_2O_5$ | Al-P*             |                              | Fe-P*             |                              | Ca-P*             |                              | O-P*              |                              |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|--|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
|                                  |                                       |   |   |  | $P_2O_5$<br>(ppm) | 占无机磷%<br>% of<br>inorganic P | $P_2O_5$<br>(ppm) | 占无机磷%<br>% of<br>inorganic P | $P_2O_5$<br>(ppm) | 占无机磷%<br>% of<br>inorganic P | $P_2O_5$<br>(ppm) | 占无机磷%<br>% of<br>inorganic P |
| 广东澄迈<br>Chengmai,<br>Guangdong   | 玄武岩<br>Basalt                         | 铁质砖红壤<br>(农用地)<br>Ferric laterite<br>(farming land) | 974   | 680  | 7.1               | 1.0                          | 62.5              | 9.2                          | 67.0              | 9.8                          | 543               | 80.0                         |
|                                  |                                       | 赤土田<br>Paddy soil on<br>ferric laterite             | 668   | 533  | 2.1               | 0.4                          | 34.6              | 6.5                          | 6.3               | 1.2                          | 490               | 92.0                         |
| 广东徐闻<br>Xuwen,<br>Guangdong      | 玄武岩<br>Basalt                         | 铁质砖红壤<br>(农用地)<br>Ferric laterite<br>(farming land) | —   | 415  | 1.0               | 0.2                          | 56.5              | 13.6                         | 11.1              | 2.7                          | 346               | 83.5                         |
|                                  |                                       | 赤土田<br>Paddy soil on<br>ferric laterite             | —   | 753  | 6.4               | 0.8                          | 292.0             | 38.8                         | 50.2              | 6.7                          | 404               | 53.7                         |
| 广东湛江市<br>Zhanjiang,<br>Guangdong | 凝灰岩<br>Tuff                           | 砖红壤<br>Laterite                                     | 580   | 329  | 2.0               | 0.6                          | 30.0              | 9.1                          | 35.0              | 10.6                         | 262               | 79.6                         |
| 广东广州市<br>Guangzhou,<br>Guangdong | 花岗岩<br>Granite                        | 赤红壤旱地<br>Lateritic soil<br>(farming land)           | 570   | 539  | 5.7               | 1.1                          | 30.3              | 5.6                          | 6.1               | 1.1                          | 497               | 92.1                         |
|                                  |                                       | 赤红壤性水田<br>Lateritic paddy<br>soil                   | 913   | 671  | 33.9              | 5.1                          | 249.0             | 37.1                         | 72.3              | 10.8                         | 316               | 47.0                         |
| 江西进贤<br>Jinxian,<br>Jiangxi      | 第四纪红色<br>粘土<br>Quaternary<br>red clay | 红壤旱地<br>Red earth<br>(farming land)                 | 480   | 316  | 5.0               | 1.6                          | 50.0              | 15.8                         | 16.0              | 5.1                          | 245               | 77.5                         |
|                                  |                                       | 红壤性水田<br>Paddy soil on<br>red earth                 | 336   | 254  | 11.2              | 4.4                          | 51.2              | 20.2                         | 23.6              | 9.3                          | 168               | 66.1                         |

\* Al-P, 磷酸铝盐(包括吸附态磷); Fe-P, 磷酸铁盐; Ca-P, 磷酸钙盐; O-P, 闭蓄态磷, 氧化铁胶膜包被的磷盐。  
Al-P—Aluminium phosphates; Fe-P—Iron phosphates; Ca-P—Calcium phosphates; O-P—Occluded phosphates.

表 3 砖红壤、赤红壤及红壤中钾的含量和形态  
Table 3 Potassium content of laterite, lateritic soil and red earth in South China.

| 土壤类型<br>Soils  | 成土母质<br>Parent materials   | 全钾 (K <sub>2</sub> O) 含量 (%)<br>Total K |                       |                                  | 缓效性钾含量 (毫克/100 克土)<br>Slowly released K |                       |                                  | 速效性钾含量 (毫克/100 克土)<br>Rapidly released K |                       |                                  |
|--|--|---|-----------------------|----------------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|
|  |  | 范围<br>Range                             | 样本数<br>No. of samples | 平均值及<br>标准差<br>$\bar{x} \pm S_x$ | 范围<br>Range                             | 样本数<br>No. of samples | 平均值及<br>标准差<br>$\bar{x} \pm S_x$ | 范围<br>Range                              | 样本数<br>No. of samples | 平均值及<br>标准差<br>$\bar{x} \pm S_x$ |
| 砖红壤、赤红壤、赤土田(水稻土)<br>Laterite, Lateritic soil, Paddy soil on ferric laterite (Paddy soil) | 高度风化的花岗岩—片麻岩、玄武岩及浅海沉积物<br>Intensively weathered granite-gneiss, basalt and marine deposits | 0.05—0.45                               | 29                    | 0.18±0.19                        | 0.7—15.5                                | 23                    | 5.86±4.58                        | 0.65—8.5                                 | 15                    | 4.19±2.86                        |
|  |  | 0.17—0.54                               | 4                     | 0.36±0.15                        | 2.8—12.6                                | 23                    | 6.45±2.93                        | 1.9—6.7                                  | 27                    | 3.84±1.18                        |
| 砖红壤、赤红壤<br>Laterite, Lateritic soil  | 风化不深的花岗岩、云母片岩、千枚岩<br>Granite, mica-schist, phyllite  | 1.55—3.99                               | 16                    | 3.00±0.84                        | 70—100                                  | 5                     | 78.32±20.21                      | 9.0—64.1                                 | 10                    | 23.92±2.21                       |
| 红壤、红泥田<br>Red earth, Paddy soil on red earth   | 第四纪红色粘土、红砂土<br>Quaternary red clay   | 0.78—1.79                               | 30                    | 1.15±0.26                        | 10—17                                   | 10                    | 13.23±2.01                       | 2.4—9.1                                  | 24                    | 5.61±3.46                        |

注: 缓效性钾是用 1 N HNO<sub>3</sub> 提取的; 速效钾以交换性钾为主, 也包括少量水溶性钾。

表 4 砖红壤、赤红壤、红壤及水稻土钾的形态  
Table 4 The forms of potassium in laterite, lateritic soil, red earth and paddy soil

| 采样地点<br>Sampling locality                 | 成土母质<br>Parent material                              | 土壤类型<br>Soil type                        | 全钾含量<br>(K %)<br>Total K | 各种形态的钾 (K 毫克/100 克土) The forms of K (K mg/100g soil) |                             |                       |                    |  |
|---|--|--|--------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|--------------------|--|
|   |  |  |                          | 难溶性钾<br>Non-release K                                | 迟效性钾<br>Very slow-release K | 缓效钾<br>Slow-release K | 速效钾<br>Available K |  |
| 广东海南岛儋县<br>Dan Xian, Hainan Dao Guangdong | 片岩<br>Schist   | 硅铝质砖红壤<br>Siallitic laterite             | 1.642                    | 1078   | 475                         | 67.8                  | 19.4               |  |
| 广东化州<br>Huazhou, Guangdong                | 高度风化的花岗岩—片麻岩<br>Intensively weathered granite-gneiss | 硅铝质赤红壤<br>Siallitic lateritic soil       | 0.346                    | 90.0   | 250.0                       | 4.6                   | 1.4                |  |
|   |  | 赤红壤性水稻土<br>Lateritic paddy soil          | 0.446                    | 208.0  | 221.6                       | 13.6                  | 2.8                |  |
| 广东徐闻<br>Xuwen, Guangdong                  | 玄武岩<br>Basalt  | 铁质砖红壤<br>Ferric laterite                 | 0.275                    | 93.0   | 169.6                       | 3.9                   | 8.5                |  |
| 广东湛江<br>Zhanjiang, Guangdong              | 凝灰岩<br>Tuff  | 赤土田(水田)<br>Paddy soil on ferric laterite | 0.403                    | 251.0  | 143.6                       | 5.4                   | 3.0                |  |
| 浙江金华<br>Jinhua, Zhejiang                  | 第四纪红色粘土<br>Quaternary red clay                       | 红泥田<br>Paddy soil on red earth           | 0.830                    | 206  | 603.6                       | 13.0                  | 7.4                |  |

等成土母质发育的赤红壤和砖红壤是含钾很低的一种土壤。风化不深的花岗岩和云母片岩发育的砖红壤和赤红壤是含钾比较丰富的一类土壤。砂岩、红砂岩及第四纪红色粘土发育的红壤及水稻土(红泥田)是含钾中等偏低的一类土壤(表 3)<sup>[2,5]</sup>。

为了明确含钾较低的土壤中钾的形态,我们曾选择五种成土母质发育的砖红壤、赤红壤和红壤性水稻土,分析了其中四种形态的钾。第一部分是速效性钾,以交换性钾为主,也包括少量水溶性钾。第二部分是缓效性钾,用 1 N HNO<sub>3</sub> 可提取出来的钾。第三部分是迟效钾,用 25% 的盐酸消煮土壤可溶解出来的钾。第四部分是难溶性钾,即使用 25% 盐酸消煮土壤也不能溶解其中的钾,一般难以为植物所利用<sup>[2]</sup>。从分析结果(表 4)可以清楚地看到,花岗一片麻岩发育的赤红壤和凝灰岩发育的赤土田,速效性钾和缓效性钾的含量都很低。玄武岩发育的砖红壤,由于粘粒含量高,且地面植被是次生森林,因此速效性钾可达 8.5 毫克/100 克土,但缓效性钾和无效性钾含量都很低,说明钾的贮备是不丰富的。与热带和南亚热带的砖红壤和赤红壤相比较,中亚热带的水稻土中各种形态的钾的含量都比较高。当然,与那些含钾丰富的土壤相比较,这类土壤的含钾量还是属于中等偏低的。自五十年代末期,种植在花岗一片麻岩发育的赤红壤上的橡胶树,每年秋季都相当普遍地出现黄叶病,我们从 1960 年开始,对橡胶树发生黄叶病的原因及防治的方法进行了研究<sup>[1]</sup>,结果证明,橡胶树发生黄叶病是由于土壤缺钾所引起的。施用钾肥不仅可以防治黄叶病的发生,而且可使胶树茎围的增粗比不施钾肥的胶树大 50—120%。试验还证明,在胶树缺钾的情况下,施用氮肥越多,胶叶中的含钾量越低,黄叶病越严重。施用钾肥后,不仅可以防治黄叶病的发生,而且有利于胶叶中的非蛋白态 N 向蛋白态 N 转化,从而有利于胶树的生长。

近年来的研究还表明,胶树缺钾,导致胶乳过早凝固,胶乳早凝与土壤速效性钾的含量成显著的负相关。当土壤中的速效性钾低至 18 ppm 时,试验区内的胶乳早凝树达 82%,高至 66 ppm 时,早凝树降为 38%。

六十年代中期的试验表明,在花岗一片麻岩发育的水稻土上,对水稻施用钾肥增产极为显著。在凝灰岩及河流冲积物上发育的赤土田以及第四纪红色粘土发育的红壤性水稻土,水稻施用钾肥后,也有增产。近年来,由于提高复种指数,氮、磷肥施用水平及作物产量的不断提高,从土壤中带走的钾量越来越大,因此钾肥的施用,已逐渐成为这些土壤继续提高作物产量的重要措施。

为什么花岗一片麻岩发育的赤红壤中含钾量这样低? 我们研究了一个四米深的土壤剖面,在 0—20 厘米的表土中,全钾(K)量为 0.154%, < 5 微米的粘粒占土壤的 30.5%,粘土矿物为高岭石和三水铝矿。在 170—240 厘米厚的高度风化体中,含钾(K) 0.454%,粘粒占 56.2%,粘土矿物为高岭石,在 240—400 厘米的风化体中,含钾为 0.919%,粘粒占 63%,粘土矿物为高岭石和云母。由于钾素主要存在于粘粒中,表土中粘粒含量既低,且无含钾矿物,因此风化体中的含钾量比表土高六倍。可见,这类土壤含钾低,主要是由于岩石在风化和成土过程中,含钾矿物和钾素受到强烈的风化和淋溶。

1) 何电源等, 1964: 橡胶树的黄叶病与钾素营养(资料), 单行本。

#### (四) 钙、镁和硅

1. 钙 一般来说,含钙、镁的矿物(尤其是含钙的矿物)的分解远较含钾矿物迅速。在同一生物气候条件下,同一成土母质所形成的红壤,其钙的含量往往较钾、镁为低,在华南四种主要成土母质上发育的砖红壤和赤红壤中,共分析了 31 个土壤样本的全钙量,其中 20 个只有痕迹量,其余 11 个标本,最高含钙量为 0.34%,平均  $0.19 \pm 0.07\%$ 。

由于生物的富集作用及钙离子本身的交换势比较大,因此,在土壤交换性阳离子中,交换性 Ca 占的比例还是比较大的。华南砖红壤和赤红壤中,交换性钙的含量每百克土为 0.20—1.96 毫克当量,平均  $1.08 \pm 0.33$  毫克当量。由于橡胶树适应酸性土壤环境,因此施石灰对橡胶树的生长无效果。

近年来我们用玄武岩发育的砖红壤进行大麦盆栽试验,土壤 pH 值为 4.5,仅施氮、磷、钾肥而不施用石灰,大麦不能生长发育,根系呈典型的铝中毒症状。

2. 镁 砖红壤和赤红壤的全镁含量在 0.08—1.87% 之间,平均  $0.53 \pm 0.36\%$ ,交换性镁每百克土 0.01—1.47 毫克当量,平均 0.30 毫克当量。其中以花岗一片麻岩和浅海沉积物发育的赤红壤为最低。近年来,有的胶园大量施用氮、磷、钾肥,由于钾与镁离子之间的颞抗作用,有的胶树已显出镁营养不足,出现典型的缺镁症状。在这类土壤上叶片中平

表 5 华南某些红壤性水稻土中的供硅能力

Table 5 Supplying capacity of silica in lateritic paddy soils of South China

| 土壤类型<br>Soil type                                      | 成土母质<br>Parent material                              | 土壤全硅量<br>(SiO <sub>2</sub> %)<br>Total content<br>of silica | 土壤有效性硅<br>(SiO <sub>2</sub> , mg/100<br>g 土)<br>Available<br>silica | 水稻 蒿 秆<br>中 含 硅<br>(SiO <sub>2</sub> %)<br>The content<br>of silica in<br>rice straw | 供硅能力<br>Supplying<br>capacity<br>of silica |
|--|--|---|---|--|--|
| 赤红壤性水稻土<br>Lateritic<br>paddy soil                     | 花岗岩,片麻岩,<br>浅海沉积物<br>Granite, gneiss<br>and deposits | $72.32 \pm 3.33$<br>(8)                                     | $5.88 \pm 1.96$<br>(16)   | $7.85 \pm 0.6$   | 低 Low                                      |
| 红砂泥田<br>Red sandy<br>paddy soil                        | 红砂岩,砂岩<br>Red sandstone,<br>sandstone                | $69.71 \pm 2.09$<br>(4)                                     | $5.75 \pm 2.11$<br>(13)   | $9.05 \pm 1.66$  | 低 Low                                      |
| 粘壤质红泥田<br>Red clay-loamy<br>paddy soil                 | 第四纪红色粘土<br>Quaternary<br>red clay                    | $74.81 \pm 3.47$<br>(9)                                     | $5.39 \pm 0.83$<br>(10)   | $9.06 \pm 0.47$  | 低 Low                                      |
| 粘质红泥田<br>Red clayey<br>paddy soil                      | 第四纪红色粘土<br>Quaternary<br>red clay                    | $74.81 \pm 3.47$<br>(9)                                     | $12.29 \pm 3.89$<br>(28)  | $8.99 \pm 1.74$  | 中 Mid                                      |
| 赤土田<br>Lateritic<br>paddy soil                         | 玄武岩<br>Basalt  | $34.77 \pm 0.45$<br>(4)                                     | $23.83 \pm 7.35$<br>(17)  | $12.67 \pm 1.36$   | 高 High                                     |
| 潮泥田<br>Southern<br>alluvial<br>submergic<br>paddy soil | 江河下游冲积物<br>River alluvium                            | $64.61 \pm 4.83$<br>(10)                                    | $25.63 \pm 3.28$<br>(10)  | $14.40 \pm 0.40$   | 高 High                                     |

注: 括号内数字为分析标本数。



均含 Mg 0.24—0.27%，低于需施镁肥的临界指标 (0.25—0.45%)，在玄武岩发育的砖红壤中含有效镁较高，叶片中平均含 Mg 0.45—0.51%。在临界指标以上。

研究证明，胶树叶片中的镁/磷比值与胶乳早凝有密切关系，当此比值在 2.5 以上者，胶乳容易早凝。而且，比值越大，早凝越严重。通过施用磷钾肥后，可以减少胶乳早凝率。

3. 硅 硅是否属于作物必要的营养元素，目前还有争论，但已有不少报告说明，在硅受到严重淋失，有效硅不足的土壤上，对水稻、甘蔗等作物施用硅肥都可获得显著增产。

我们在红壤性水稻土上的初步试验表明，土壤含有效性硅 ( $\text{SiO}_2$ )  $5.23 \pm 0.47$  毫克/100 克土，施用含硅高的炉渣可增产 5—11%；土壤含有效性硅为  $8.70 \pm 2.41$  毫克/100 克土，施用硅肥增产效果不显著。根据这个标准并参照国外有关资料，我们初步将华南的一些砖红壤和红壤性水稻土的供硅能力划分为三等 (表 5)，其中以高度风化的花岗一片麻岩及浅海沉积物发育的赤红壤性水稻土为最低，每百克土中仅含有效硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 3 毫克左右。玄武岩发育的赤红土田含有效硅可达 35 毫克当量/100 克土，是供硅能力比较丰富的一类土壤。

脱硅富铝是红壤成土过程的重要特点之一，在长期的脱硅过程中，红壤表层的溶性硅往往低于下层土壤，因此一些本来含硅量就比较低的红壤上，可能硅肥对甘蔗、香茅等禾本科作物将会产生较好的效果。

### (五) 微量元素

砖红壤和赤红壤中微量元素的含量和状态与成土母质、土壤性质密切相关，现分述如下：

1. 锰 玄武岩发育的铁质砖红壤和赤红壤全锰含量一般在 2000—3000 ppm 之间，活性锰在 50—200 ppm 之间。花岗一片麻岩、片岩、砂页岩、浅海沉积物发育的赤红壤，全锰含量在 200—500 ppm 之间或以下，活性锰常在 20 ppm 以下，石灰岩发育的土壤，因土壤类型不同而有很大的差异。红色石灰土及棕色石灰土含锰量可达 2000—3000 ppm，而其他土壤常在 500 ppm 以下。

2. 铜 花岗岩、砂岩和浅海沉积物发育的砖红壤和赤红壤，含铜量大多数在 15ppm 以下，只有少部分土壤在 20—50 ppm 之间，这些土壤的活性铜一般都低于 2ppm。片岩、页岩、第四纪红色粘土和紫砂岩发育的红壤和赤红壤，一般含铜 5—50 ppm，活性铜常少于 2ppm。玄武岩发育的砖红壤，含铜量常在 100—150 ppm 之间，平均 100 ppm 左右，活性铜在 2—5 ppm 之间。橡胶叶片中一般含铜 1.8—9.2 ppm。我们在海南岛的试验证明，用 1% 的硫酸铜溶液涂在胶树割口上，可刺激胶树增加胶乳产量 4—60% 左右，但胶乳中的干胶含量下降 4—18%，故只能增加干胶 0.2—11% 左右。据报道，含铜量过高，则会·影响胶乳的品质。

3. 锌 玄武岩发育的铁质砖红壤含锌常在 150—300 ppm 之间，胶树叶片中锌的平均含量为 30 ppm 左右。红色石灰土和棕色石灰土含锌量可达 100—600 ppm，风化不深的片岩发育的砖红壤和赤红壤，含锌量常在 150—250 ppm 之间，高度风化的花岗岩、片麻岩、片岩、砂岩、砂页岩、页岩及浅海沉积物发育的砖红壤，含锌量常在 50—100 ppm 以下。近年来在粤西北部发现，有些橡胶树出现典型的缺锌病状——小叶病。

4. 硼 石灰岩、砂页岩、浅海沉积物和部分片岩发育的红壤、砖红壤、赤红壤、红色石灰土及棕色石灰土,全硼含量常在 100—200 ppm 之间,其它火成岩等成土母质发育的红壤、全硼含量常在 10—50 ppm 之间或以下。有效态硼的含量在 0.03—0.3 ppm 之间,个别的达 0.5 ppm,平均 0.19 ppm。一般有效态硼占全硼的 0.6% 以下。若以土壤有效性硼(沸水溶性)低于 0.5 ppm 作为植物可能缺硼的临界值,则华南土壤大部分都属硼的供应不足。橡胶树叶片中含硼 46—86 ppm,我们在海南岛的试验证明,用 1% 硼砂或硼酸溶液涂在胶树割口上,可使胶乳产量提高 13—54%,胶乳中干胶含量下降 7—15%,故只能增产干胶 1—8% 左右,但时间过长,则可能出现死皮。用赤红壤、砖红壤和红壤进行花生和黄豆盆栽试验证明,硼肥对增产果荚、籽实及降低果荚的空疵率都有明显作用。

5. 钼 砖红壤和赤红壤全钼含量为 0.6—5.1 ppm,平均  $3.1 \pm 1.1$  ppm,有效性钼 0.03—0.32 ppm,平均  $0.16 \pm 0.09$  ppm,占全钼的 5—15%。其中以风化不深的花岗岩发育的林地砖红壤的含钼为最高。高度风化的片麻岩发育的赤红壤含有效钼最低。象玄武岩、凝灰岩一类成土母质发育的砖红壤,虽然全钼含量可达 3—5 ppm 之间,但有效性钼都在 0.13 ppm 以下,与全钼的 1.5—5.6% 之间,属钼供应不足。有效性钼低的原因与全钼含量低有关,但很可能与钼酸阴离子 ( $\text{MoO}_4^-$ ) 易被活性氧化铁固定有关,我们曾经用 pH 3.3—8.0 的草酸—草酸铵溶液提取八种成土母质发育的红壤中的钼和铁,都以中性溶液提取出来的钼量为最低,大部分土壤只有 0.01 ppm 左右,说明红壤中的水溶态和代换性钼的含量是很低的。当提取液的 pH 值自 7.0 逐步降低到 3.3,提取出来的钼和铁都达到最高,表明土壤中部分被铁、铝氧化物所吸附、固定的钼酸盐被溶解提取出来。当提取液的 pH 值由 7.0 升高到 8.0 时,提取出来的钼量增多,而铁量减少,说明此时部分活性铁被沉淀,而部分高价钼氧化物却被提取出来。

我们在凝灰岩和玄武岩发育的铁质红壤上进行的小区和盆栽试验都证明,对黄豆和花生施用钼肥,可获得显著或极显著的增产。近年来,华南热作研究院试验用乙烯利刺激割胶时,将钼酸铵涂施在胶树皮上,对减少死皮,增加干胶浓度和产量均有明显作用<sup>1)</sup>。

## 二、主要热带土壤肥力评价

华南热带土壤一般都是酸性,钙、镁含量较低,对于不耐酸性土壤的作物,适当施用石灰是作物增产的必要措施。各种类型的土壤,无论全磷含量较高或较低的,都不同程度地缺乏有效性磷,对于作物和林果树木施磷肥,都可得到不同程度的效果,只有在多年施用磷肥,土壤条件有利于溶性磷的积累,才可少施或不施磷肥。微量元素硼和钼与土壤磷有相似的趋势,应注意研究其有效施用条件。现以上述结果为主要依据,分别简要评价如下:

### (一) 铁(铝)质砖红壤

主要分布在海南岛北部、雷州半岛南部等地,发育在玄武岩和凝灰岩上。因水分条件

1) 黄宗道, 1979: 橡胶、热带作物科技发展概况。中国热带作物学会成立大会汇刊。

不同而分为红色砖红壤和黄色砖红壤<sup>[1,7-9]</sup>,前者粘土矿物以高岭石、水铝石及赤铁矿为主,后者以高岭石及针铁矿为主,土壤全磷量较高,锰、铜、锌、钴、镍、钒、钛的含量都较高,而钾、钙、镁等养分都较缺乏。在季雨林或次生雨林下,土壤有机质和全氮含量较高;森林砍伐开垦后,有机质和氮含量下降;种植旱粮或多年生热带作物的砖红壤,由于经常耕锄,有机物强烈分解,故有机质和氮含量较低。

这类土壤分布在低丘台地上,可进行机械作业,除发展多年生热带经济作物和林木外,也可种植农作物,但要注意水土保持和培养地力。

## (二) 硅铝质砖红壤

主要分布在海南岛中部,东南部、西北部及云南西双版纳等地的山丘上<sup>[1,7-9]</sup>,母质有花岗岩、片岩、砂岩等,在热带雨林下,有机质可达5—13%,但森林破坏后,有机质可下降至2—3%左右,尤其在一些刀耕火种或开垦不当的地方,造成严重的水土流失,在土壤表面,残留着一层石英砂,肥力很低。这类土壤的母质风化程度不深,含钾矿物较多,正长石含量达7—23%左右;土壤全钾、缓效性钾和速效性钾含量都较丰富,所以施钾肥的效果不明显。其它矿质营养元素含量中等,这类土壤适宜发展橡胶树、可可、咖啡等热带经济林,并应保护和营造好水源林、用材林及水土保持林。

## (三) 硅质砖红壤

主要分布在广西南部沿海一带,雷州半岛中部及海南岛北部沿海地区<sup>[1,7-9]</sup>。母质为浅海沉积物,土壤中含 $\text{SiO}_2$ 高达76—87%,但有效性硅很少,磷、钾、钙、镁及微量元素铜、锌、钴、钼等含量都很低,全硼含量虽可达100—200 ppm,但有效性硼含量很低。目前的天然植被为稀疏矮草,土壤有机质含量在1%以下,含氮0.05%以下,是华南土壤肥力最低的一类。这类土壤所处地势平坦,适于机械作业,可按方格法营造防护林带,在带内种植木麻黄、桉树和台湾相思树等耐瘠树种,改造生态环境;在方格内种植豆科植物以改良土壤,然后种植经济价值较高的热带经济作物或农作物。

## (四) 硅铝质赤红壤

主要分布在粤西、桂东南、粤东南、闽南及滇南一带<sup>[1,7-9]</sup>,母质主要为花岗岩及其它酸性岩石,土壤含磷量低,钾的含量因母质不同而有极大差别。风化不深的花岗岩及流纹岩含钾丰富;高度风化的花岗一片麻岩及砂页岩母质含钾很低,是橡胶树首先出现缺钾症状的土壤。土壤有机质和含氮量随植被不同而异,在季风常绿阔叶林下,土壤有机质可达3—6%,在矮灌木和草本植被下,含有机质2%以下,受到侵蚀的土壤,则不到1%。在平缓的赤红壤上,可种植甘蔗等经济作物,在丘陵坡地上可种植龙眼、荔枝等果木;而橡胶树、咖啡、胡椒等热带经济林木作物,则只能选择避风、避寒的地段种植。

## (五) 红、黄壤

这两类土壤在热带地区都属于山地垂直带谱上的土壤<sup>[1,7-9]</sup>,一般分布在海拔800—1200米以上,天然植被以森林高草、灌木为主,自然肥力都比较高。可发展茶叶、木本油

料等经济林及用材林。

### (六) (砖)红壤性水稻土

本类水稻土分别起源于砖红壤和赤红壤,其土壤肥力随成土条件和熟化程度而不同。一般来说,都较其起源的土壤肥力高一些。土壤含有机质通常在 2% 左右,高的可达 3—4%,氮含量一般为 0.1—0.15%,高的可达 0.15—0.2%,磷、钾、钙、镁及微量元素含量,因成土母质不同而相差悬殊。母质为玄武岩和凝灰岩的红壤性水稻土,其磷、锰、铜、锌、钴和钒的含量较高,有效性硅含量也较高,但钾、钙、镁的含量均低;花岗岩等酸性岩石发育的红壤性水稻土,钾的含量较高,而有效性硅含量低,施硅肥往往使水稻明显增产。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。50—68 页, 495—518 页, 科学出版社。
- [2] 李庆远等, 1964: 我国红壤区某些主要土类钾的含量、状态及含钾矿物的转化规律。土壤学报, 第 9 卷 1—2 期, 22—36 页。
- [3] 何电源、唐丽华等, 1964: 华南某些主要土壤中微量元素含量和分布规律的初步研究。《中国科学院微量元素研究工作会议汇刊》, 254—256 页, 科学出版社。
- [4] 何电源等, 1964: 橡胶树的微量元素及其对产胶的影响。《中国科学院微量元素研究工作会议汇刊》, 242—243 页, 科学出版社。
- [5] 何电源等, 1966: 水泥窑灰钾肥在红壤及红壤性水稻土上肥效的初步研究。土壤学报, 第 14 卷 2 期, 159—167 页。
- [6] 何电源、欧阳洮、钱承梁, 1975: 华南红壤中硼、钼含量及硼、钼肥对豆科作物的肥效。土壤, 第 5 期, 220—226 页。
- [7] 何金海、石 华等, 1958: 海南岛土壤调查报告。中国科学院土壤研究所, 土壤专报, 第 31 号, 1—64 页。
- [8] 何金海、张俊民、石 华等, 1958: 广东西南部及广西东南部土壤调查报告。中国科学院土壤研究所, 土壤专报, 第 31 号, 99—137 页。
- [9] 赵其国、邹国础, 1958: 雷州半岛之土壤及其利用。中国科学院土壤研究所, 土壤专报, 第 31 号, 67—95 页。

## FORMS AND CONTENT OF NUTRIENTS IN SOIL OF TROPICAL REGION IN SOUTH CHINA AND THE EVALUATION OF THEIR FERTILITY

He Dianyuan

*(Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, Changsha)*

### Summary

This paper deals with the forms and content of N, P, K, Ca, Mg, available  $\text{SiO}_2$  and micronutrients in soils of tropical region in South China according to which fertility of the soils are evaluated. The hydrolyzable N extracted by 6 N HCl in soils under the tropical rain forest and high grass was about 60—80% of the total N, and it was only 30% of the total N in lateritic upland field. It may be because the frequent ploughing on lateritic upland field accelerates the rapid decomposition of nitrogenous compounds in soil. Results of the study are summarized as follows:

- (1) About 80—92% of inorganic phosphorus in laterite soil was transformed into occluded-phosphate, and almost all of the available phosphate from phosphatic fertilizers was transformed into ferric phosphate.
- (2) The siallitic laterite and lateritic soils derived from granite and mica-schist bearing abundant potassium minerals contained more K than other soils.
- (3) There were more organic matters and total nitrogen in the soils under tropical rain forest, secondary rain forest and high grass, but poor in those soils under *Baekkea* sp. and short grass.
- (4) Ferric laterite and paddy soil derived from basalt and tuff were abundant in total phosphorus, available  $\text{SiO}_2$ , Mn, Cu, Co, Ni, V and Ti, but poor in K, Ca and Mg. If these soils are planted with forests, the potential fertility of soils will be more higher than other types of soils.
- (5) Sillicaeous lateritic soil and paddy soil derived from intensively weathered gneiss and marine deposits were poor in K, Ca, Mg, available  $\text{SiO}_2$  and micronutrients. If these soils are covered by short grass and *Baekkea* sp., the potential fertility of soils will be very poor.