

热带土壤管理和世界粮食生产前景

W.J. Goedert, E. Lobato, M. Resendse

中国科学院南京土壤研究所

图书情报研究室编印

1983年1月

热带土壤管理和世界粮食生产前景

W. J. Goedert, E. Lobato, M. Resendse

(巴 西)

今天全世界人口大约为43亿。最近十年间人口增长速度每年为1.8%。根据 Wortman 和 Cumming (1978) 计算, 如果这样的增长速度持续下去, 世界人口38年将翻一番。各大洲之间人口增长速度并非一致。热带地区增长最快, 譬如南美热带地区可能24年人口就会翻一番。

上述这些预计数字突出说明, 为日益增长的人口生产足够的粮食, 这是一件世界性的大事。增产粮食基本上有两种选择, 提高单位面积产量和把农业扩大到新地区, 这两种可能性都会起重要作用。但是提高土地生产力是一个缓慢的过程。所以在土地生产力已经达到相当高程度的传统产粮国家, 提高单产将是很困难的事。因此, 将农业扩大到新垦殖地区看来容易短期奏效。目前世界上耕地大约有16亿公顷。根据联合国粮农组织资料, 还有16亿公顷潜在适耕地, 这些土地大部分位于南美和非洲热带 (Thorne and Thorne, 1979)。把这些土壤合理开发起来, 这将对科学工作者的一次实际挑战。在提出以合理土壤管理为基础的开发技术之前, 还有大量研究工作要做。本文目的想说明热带地区主要土壤问题, 并根据现代科学技术提出可供选择的解决办法。

本文只限于拉美地区的工作, 但是热带各地区生态条件是相类似的 (North Carolina State University, 1980)。对于拉美氧化土和老成土提出的土壤管理方案, 将会适用于其他

热带地区。

热带地区特点

热带地区面积超过30亿公顷，可划分为四个农业生态区：湿润热带，半干旱热带，酸性稀树草原和侵蚀地区（Steep lands）。

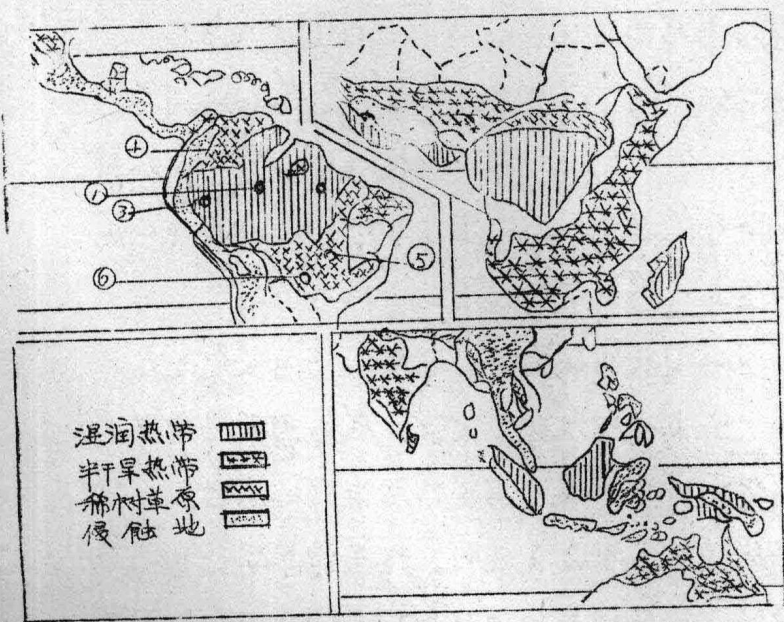
湿润热带的特点是降雨量高，旱季少于三个月，氧化土占优势，自然植被为热带雨林；人口密度低；交通主要靠水系；农业制度十分原始；目前粮食产量很低，无过剩。

半干旱热带的特点是降雨量稀少，旱季持续五到七个月；主要土壤处于干旱（ustic）土壤水分范围，但是偏干燥；大部分为典型干燥地区植被覆盖；人口密度相对很高；部分土地已经灌溉耕种。

酸性稀树草原占热带地区大约1/5；有三到六个月的明显旱季；氧化土和老成土占优势；为典型稀树草原（Savanna）或高草草原（C rrada）植被，人口密度低到中等，许多地区已具备十分完备的基层结构；农业正处于迅速发展中。

侵蚀地区，这里是人口稠密地区，土壤侵蚀是主要问题，土壤性质和水热条件变化很大。粮食产量与消费都很高，不可能有过剩。

这四种生态地区的概况清楚表明，在湿润热带和稀树草原地区的生产抑制因素主要是土壤，尤其是土壤肥力很低。但是这两个地区正是发展农业，提供剩余粮食潜力最大的地区。因此以下各项讨论重点将集中于这两个地区。



- ① 马瑙斯 (巴西)
- ② 贝伦 (巴西)
- ③ 尤里马瓜斯 (秘鲁)
- ④ 卡里马古 (哥伦比亚)
- ⑤ 巴西利亚 (巴西)
- ⑥ 坎波格朗德 (巴西)

图1 热带农业生态区 (根据: N.C.

State Univ., 1980; Thorne and Thorne, 1979)

(1979.)

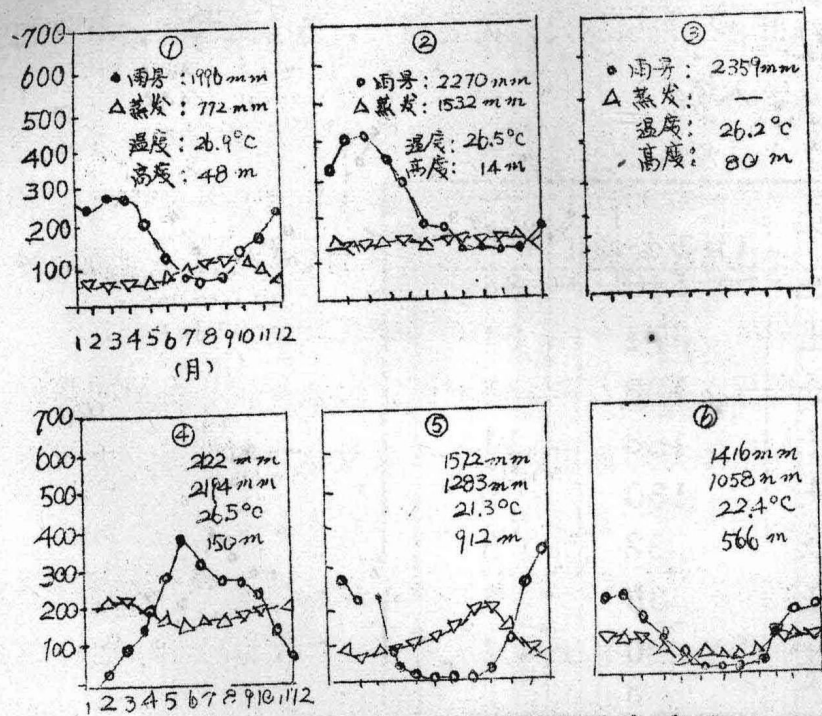


图2 热带拉美六个地点的气候资料 (来源:

ENBRAPA, 1976; N.C. State Univ., 1979; Sanchez and Isbell, 1978.)

图 2 所示为拉美六个地点的气候资料。平均气温和总降雨量在各地都很高。从雨量分布来看，在稀树草原地区比在湿润热带旱季延长。水分平衡资料表明，稀树草原地区水分亏缺期为 3 到 6 个月，其中 2 到 3 个月基本无雨。单靠这些平均数字可能令人产生误解。对于作物生长起着决定性影响的时间并不在水分亏缺期。在雨季里经常出现短期或间歇干旱，它对作物生长起着决定性影响。这主要是由于土壤有效水含量很低，底层土壤具有不利根系发育的土壤化学性质，同时蒸发蒸腾作用很强等原因。

湿润热带水分平衡资料（图 2）表明，这里的旱季比稀树草原地区时间短而程度轻。在旱季月份仍有 50 到 100 毫米降雨量。但是由于这里降雨大部分为雷阵雨，作物产量仍可能受水分紧张压力，而过量雨水又可能成为另一个问题。虽然大部分土壤深厚，排水良好，但是降雨强度大，次数频繁，仍会给播种，耕作和收获等工作带来麻烦。

表 1 美洲热带土壤分布

土 壤	面 积 (百万公顷)	%
氧化土	513	34
老成土	371	24
淋溶土	192	13
始成土	168	11
新成土	130	9
软 土	82	6
旱成土	35	2
变性土	20	1
有机土	3	
总 计	1514	

来源：Sanchez and Isbell (1978)

根据表1, 氧化土和老成土占热带美洲面积60%, 根据FAO土壤图这两类土壤在湿润热带和稀树草原植被条件下都会出现 (Sanchez and Isbell, 1978)。

就增产粮食来说, 氧化土和老成土远比其他土纲要重要得多。但是老成土亦相当重要。在辽阔的季节性淹水地区有大面积低湿始成土出现。表2为代表性土壤剖面的性质。黄色砖红壤 (Yellow Latosols, 干氧化土或正常氧化土) 是湿润热带天然排水良好条件下的优势土壤。全剖面强酸性, 铝饱和度高, 交换性盐基很低, 有效磷也很低。

红黄色砖红壤 (Red Yellow Latosols) 和暗红色砖红壤 (dark red Latosols) 为稀树草原植被下的优势土壤, 土层深厚, 排水良好; 具有高度稳定性团聚体, 良好结构性。土壤质地变异很大, 但粘性土壤居多。酸性, 铝饱和度一般大于50%, 但是交换性铝绝对量不高。某些剖面全部土层铝饱和度很高, 另外有些剖面只是表层很高。这些情况对于改善根系发育的土壤管理措施具有十分重要影响。土壤交换性盐基很低, 有效磷几为零。

低腐殖质潜育土 (Low Humic Gley, 潮始成土) 为湿润热带天然排水不良条件下的主要土壤。在每年土壤干燥时期, 肥力很高。但是雨季淹水限制了这种土壤的利用。

氧化土另外一个主要问题是持水量低。既是粘土通常含有效水量也很少 (Lopes, 1977)。其原因可能是粘粒部分的主要粘土矿物成分为高岭石, 三水铝石和氧化铁的缘故 (Weaver, 1974)。此外, 高岭石粘粒往往又被氧化铁或氢氧化铁胶结, 形成砂粒状土粒。因此土壤结构性良好, 但蓄水能力很低。所以

这些土壤除铝饱和度高，交换性钙低之外，还可能在间歇干旱期出现水分紧张问题。

土 壤 管 理

热带地区土壤具有若干共同特性，因此大部分土壤和农业生态地区的土壤管理战略将是一致的。总的来说，热带地区土壤管理的目的将达到：

1. 创建土壤肥力，即改善土壤养分状况及中和土壤酸度。
2. 减少和消除干旱带来的风险。
3. 防止土壤侵蚀。

除去这些总目标之外，土壤管理中还需要考虑强度淋溶作用和低湿地排水问题。

改善土壤肥力

要使大多数作物获得高产，必须解决酸度太高，有效磷太低等若干共同性的土壤问题。

施用石灰 土壤酸度问题通过作物育种和土壤管理相结合可以获得解决。最近几年来植物育种学家为获得在酸性条件下能够满意生长的植物已做了巨大努力（Wright, 1976）。不过这条途径并不排除施用石灰，因为大多数土壤铝饱和度很高（大于50%），而交换性Ca和Mg都低于植物营养和根系发育正常需要水平。

在氧化土和老成土已进行了大量试验，研究施用石灰对主要作物产量的影响。这里引用其中一组试验，它开始于1972年，

是在暗红色砖红壤上进行的（分析结果见表2）。石灰用量为0，1，2，4，8吨/公顷。施用深度为0—15及0—30厘米两种（Gonzalez, 1976）。共种了七茬作物，前三茬，第五茬和第六茬均为玉米，第四茬为高粱，第七茬为大豆。所有作物对石灰都有明显产量反应（表3）。试验结果表明，既是最低石灰用量，在整个试验期间仍表现出明显残效。石灰施用于0—30厘米深度的所有处理，产量一直比施于0—15厘米的处理为高。但是由于钙镁向下淋洗，深施和浅施的这种差异随着试验时间明显的逐渐减少（表4）。石灰深施促进根系在15—30厘米土层中发育，扩大了吸收水肥的土壤容积，是产量获得进一步提高的原因（Gonzalez, 1976）。这些事实表明，石灰施用方法和植物吸收土壤水肥之间存在一定关系。

表3 石灰用量与深度对玉米、高粱和大豆产量的效果
（公斤/公顷）
（巴西暗红色砖红壤）

石灰用量 (吨/公顷)	玉 米			高 粱	玉 米		大 豆
	1 茬	2 茬	3 茬	4 茬	5 茬	6 茬	7 茬
	1972-73	1973	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78
	2115	4570	880	1475	2360	1175	1055
	3425	5280	1475	3525	4280	1940	1966
	3530	5690	1865	5585	4320	2005	1862
	4005	5905	2265	6225	4620	2705	1889
	3725	5960	2050	6875	5410	2455	2113
	4020	5685	2085	4750	4430	1380	1304
	4340	5860	2575	5800	4600	2125	2054
	4800	6680	3060	6425	4810	2350	2248
	4790	7265	3600	7055	5970	2775	2254

来源：EMBRAPA (1979); Lathwell (1979a)

表4. 石灰用量与深度对土化学性质的影响

石灰 用量 (吨/亩)	果林 深度 (cm)	土 块 pH				交换性Ca + Mg (me/100g)				交换性Al (me/100g)				Al饱和度 (%)			
		12/72	4/76	7/78*	12/72	4/76	7/78*	12/72	4/76	7/78*	12/72	4/76	7/78*	12/72	4/76	7/78*	
0	0-15	4.9	4.2	3.9	0.40	0.42	0.28	0.95	1.48	1.50	90	28	80				
	15-30	4.7	4.1	4.2	0.35	0.51	0.40	0.90	1.25	1.14	72	71	67				
1	0-15	5.0	4.4	4.2	0.92	1.13	0.60	0.60	0.89	1.12	39	44	61				
	15-30	4.7	4.4	4.3	0.40	0.86	0.74	0.75	0.90	1.02	65	51	54				
2	0-15	5.5	4.8	4.3	0.95	1.92	1.04	0.45	0.64	1.00	19	25	46				
	15-30	4.7	4.6	4.3	0.35	1.02	0.80	0.90	0.80	1.02	72	44	53				
4	0-15	6.4	4.9	4.8	2.65	2.41	2.08	0.10	0.36	0.40	4	13	15				
	15-30	4.8	4.7	4.5	0.35	1.40	1.18	0.85	0.69	0.62	71	33	32				
8	0-15	7.0	5.7	5.2	2.90	1.98	3.76	0.00	0.02	0.08	0	1	2				
	15-30	4.7	4.9	4.8	0.40	2.04	2.04	0.80	0.36	0.30	67	15	12				
1	0-15	5.1	4.4	4.0	0.80	0.73	0.36	0.80	1.25	1.54	50	63	77				
	15-30	4.7	4.4	4.2	0.60	0.66	0.60	0.90	1.07	1.30	60	62	65				
2	0-15	5.5	4.6	4.3	1.85	1.62	0.82	0.35	0.73	1.10	76	31	53				
	15-30	5.2	4.6	4.4	1.40	1.30	0.90	0.45	0.66	0.82	24	33	44				
4	0-15	6.0	5.2	4.7	3.15	2.82	1.92	0.15	0.18	0.50	5	6	19				
	15-30	5.5	4.8	4.6	1.70	1.83	1.15	0.30	0.43	0.62	15	19	32				
8	0-15	6.4	5.7	4.8	4.10	4.95	3.30	0.10	0.05	0.20	2	1	6				
	15-30	5.8	5.2	5.0	2.10	2.85	3.15	0.30	0.15	0.08	13	5	2				

Dr. Leo Naber Miranda; 来源: EMBRAPA (1979); Latuwell (1979) * 果林时间: 施石灰后三周, 5粒, 和7粒。

表4表明,加入石灰后,在较深的土层Ca+mg量逐渐增加,而铝饱和度减少。这对于深根发育是十分重要的(Miranda et al., 1979)。由于土壤存在有pH因变电荷交换点,施用石灰会使阳离子交换能力提高。产量反应部分由于铝饱和度减少,但是Ca有效性增加亦有利于植物生长。

对于施用石灰获得上述类似作物反应,在巴西,波多黎各,秘鲁,和哥伦比亚等地也报导了一些试验结果(CIAI, 1978; EMBRAPA, 1980a; Goedert, 1979; Lathwell, 1979a)。这些结果都清楚证明,施用石灰在任何土壤管理方案中都具有农业价值。对于曾经为雨林覆盖过的土壤,开发后第一年作物没有表现出上述反应,其解释是钙,镁,钾等养分在天然植被焚烧过程中大量转入土壤。不过在湿润热带养分耗竭的土壤中施用石灰预料会有正的反应。

尽管石灰对作物产量有良好反应是肯定无疑的,但是确定作物对石灰反应的土壤条件方面仍有许多工作要做,另外,石灰需要量还要决定于农业制度。巴西中部稀树草原的传统农业制度,种两年旱稻再种牧草(主要 Brachiaria decumbens)。两者都是耐酸性植物。施用磷矿粉做为磷源,而施用石灰只是供给植物钙镁养分。如果有大豆或玉米等作物包括在轮作中,这种做法就不适宜了,必须考虑到酸度对这些作物的影响。

在这些酸性土壤的交换体中,交换性Al占优势。因此交换性Al的数量是提出石灰用量建议的合理指标。石灰需要量可根据下式决定:

$$\text{石灰吨/公顷} = (2 \times \text{Al}^{3+}) + (2 - \text{毫克当量}(\text{Ca} + \text{mg}))$$

根据这项公式建议的石灰用量,一般可使土壤pH提高到大约

5.5, 大部分交换性铝得到消除。上式尽管没有考虑到土壤缓冲性能, 但是已经证实对于预报氧化土和老成土的石灰需要量是十分有效的。

在热带土壤管理中施用石灰起着重要作用, 但是有市场和价格方面的限制。整个热带地区天然石灰石分布广泛, 由于缺乏加工设备, 石灰石粉往往要运输很远的距离, 这就增加了成本。

磷 缺磷可能是热带土壤最严厉的抑制因素。一般地说, 氧化土和老成土全磷和速效磷都很低(表2)。而且很多土壤具有很高的吸磷能力。采用等温吸附曲线方法已获得大量资料。

Lathwell(1979b)总结了拉美氧化土的结果, 平均250 ppm的P可使溶液中P达到0.10 ppm。这说明需要施入土壤大量的磷酸盐。虽然这些氧化土吸收P的作用同若干土壤性质有关, 但是Lopes(1977)发现同砂粒或粘粒含量关系最为密切。土壤含有以高岭石和/或水化氧化物为主要组成的粘粒时, 土壤初始需磷量将随粘粒含量增加而增加。最近证明, 施用石灰会减少P吸附量, 并改善土壤物理性质。

植物对施入磷反应十分明显(图3, 4, 5)。要达到最高产量所需要的磷肥用量, 不同作物和地点有很大变化。这些资料证明, 这些土壤矫正缺磷之后粮食生产潜力是很巨大的。

磷肥用量决定于多种因素, 例如土壤组成, 耕作制度, 过去土地利用情况, 以及肥料成本等。还有一个重要因素是磷肥的施用方法。从理论上讲, 由于土壤具有很高的吸收能力, 磷肥应该条施。但是对这类土壤, 人们不能只考虑到土壤—肥料关系。局部施用磷肥可能限制根系伸展, 这对抵抗干旱是至关重要的。撒

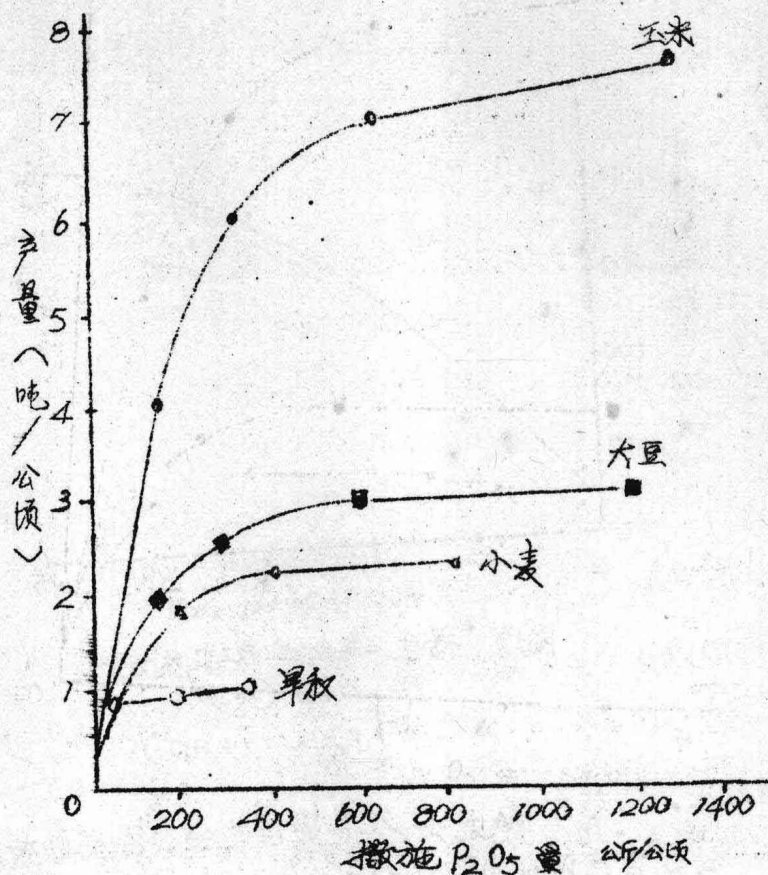


图3 稀树草原土作物
对磷肥反应
(来源: Lobato, 1980)

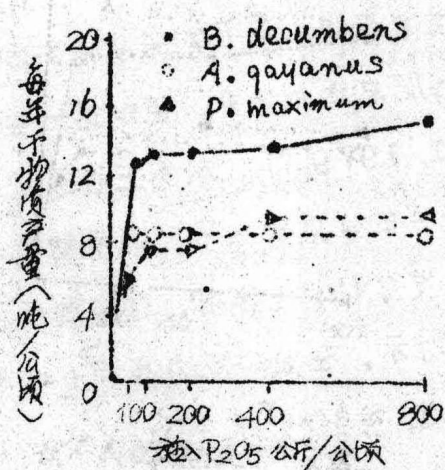


图4 Carimagua 氧化土热带
牧草对磷肥反应 (来源:
CZAT, 1978)

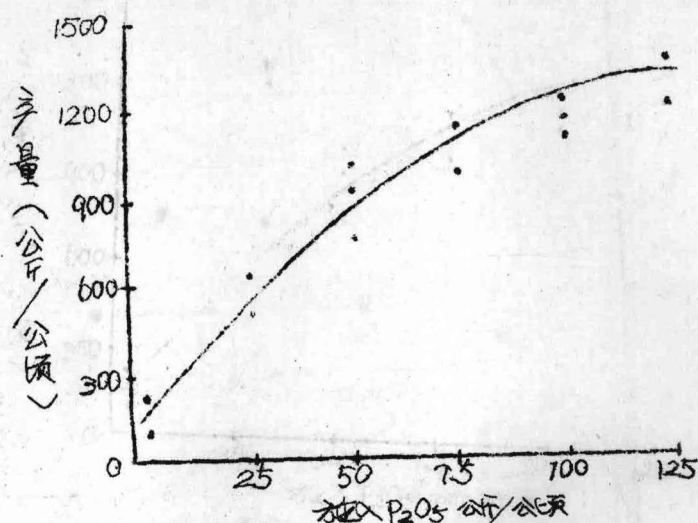


图5 黄色磷红林豆对磷肥反应 (来源: EMBRAPA, 1980)

施为主，条施为辅，对于大多数作物会获得良好效果。

表5为巴西稀草原土壤上进行的一组长期磷肥试验，该试验于1972年开始，收获10茬玉米，磷肥撒施处理是在第一茬玉米播种前一次施入的。

试验结果清楚表明，从长期来看条施和撒施结果是类似的，产量随施入的磷肥总量而上升。但是第一茬产量撒施明显高于条施 (Lathwell, 1979b)。从第三茬之后情况却恰好相反。这表明维持土壤足够的有效磷水平，采用初期撒施是很方便的做法。初期撒施对根系发育起重要作用，这有利于植物吸收土壤水分。

如表5资料所示，在吸磷能力高的土壤中磷肥有长期残效。处理1（初期撒施160公斤 P_2O_5 /公顷）的磷肥效果一直保持到第10茬作物。植物从土壤中提取的全部 P_2O_5 有120公斤，即施入磷的75%是对植物有效的 (Lobato, 1980)。这些结

表5 暗红色砖红壤10茬玉米对磷肥反应

处理	磷肥用量(P_2O_5 公斤/公顷)		第1茬产量		10茬总产	
	撒施	条施	总计 (吨/公顷) (%)	(吨/公顷) (%)	(吨/公顷) (%)	(吨/公顷) (%)
1	160	0	160	0.35	6	17.06
2	320	0	320	0.55	10	27.85
3	640	0	640	1.47	27	42.67
4	1280	0	1280	3.98	74	60.83
5	1960	0	1960	5.38	100	61.64
6	0	80(X4) ^a	320	0.88	16	30.09
7	0	160(X4) ^a	640	1.90	35	44.05
8	0	320(X4) ^a	1280	4.09	76	61.51
9	320	80(X4) ^a	640	1.35	25	43.89
10	80	80 ^b	880	4.81	89	49.77

来源: Lobato, 1980 a、条施在第4茬后停止;

b、条施各茬都进行。

果同等温吸附测定的数字 (Lathwell, 1979b) 加以比较表明, 热带土壤具有人所共知的很高吸附能力, 但是问题并不像文献中所说的那么严重。此外, 在决定磷肥最佳用量时, 必须考虑到这种明显的残效。根据表5 资料做粗略的经济分析, 如果只考虑前两茬作物, 建议磷肥用量大约为 350 公斤 P_2O_5 /公顷; 但是如果按前五茬作物考虑, 则经济效益最好的用量大约为 1000 公斤 P_2O_5 /公顷。

热带土壤管理中另一个至关重要的问题是磷肥来源。可溶性磷酸盐十分重要，但是它的价格受燃料市场供应情况支配。根据研究，可利用当地磷矿石，除磨粉之外，不需要任何加工。

除少数磷矿石（如 Gafa 产）之外，热带地区大多数磷矿粉溶解度为低到中等，根据研究结果，这类磷矿石粉应该用于以下条件：

1. 酸性土，不施或少施石灰。如栽培旱稻和牧草 *Brach-iria* 等耐铝作物时石灰用量以仅满足 Ca , mg 营养需要为度。

2. 磷矿石粉撒施应与可溶性磷肥条施相结合。

3. 磷矿石粉单位 P_2O_5 价格应低于水溶性磷肥的 50 %。

在土壤管理中另一个重要问题是石灰和磷肥之间存在正的相互作用。在文献中人们已经指出这一作用的重要意义。特别是对于铝饱和度很高的酸性土壤，以及对铝敏感植物和品种尤为重要（CIAT, 1978; EMBRAPA, 1978; Goedert, 1979, North Carolina State University, 1978）。图6所示的例子说明，单独施石灰或单独施磷肥对大豆产量并没有重大作用。但是两者结合一起使用，则产生明显反应。

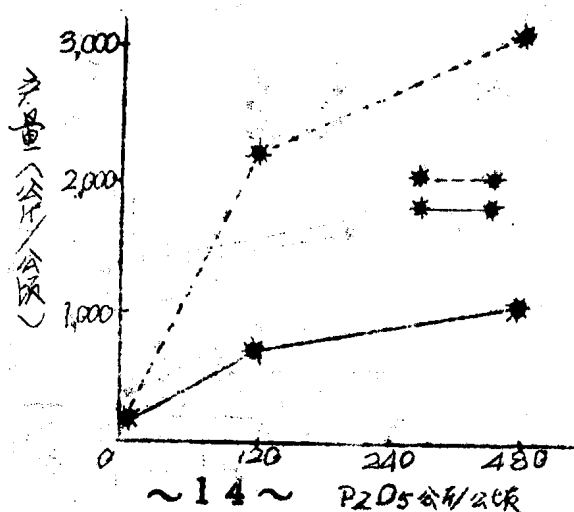


图6 暗红色硬红
块大豆对石灰和磷肥
反应 (来源: EMBRAPA,
PA, 1976)

在热带地区所做的研究表明，合理施用磷肥是必要的，而且很容易做到。用量建议在 100-400 公斤 P_2O_5 / 公顷之间；这要决定于土壤磷，质地，茬口，以及经济因素。将全部施用量在几年之内施入比初期一次施入为好。例如粘性土壤每年施 80-100 公斤 P_2O_5 ，4-5 年之间可使土壤有效磷达到临界水平。以后只补施作物移走磷的数量就够了。

对于吸收能力很高的土壤，开始撒施（可用磷矿粉）以后条施，比只采用一种施用方法更为奏效。但是对于不同土壤和作物长期施用磷肥的最适方法，这仍然是有待进一步研究的问题。

锌、钾、氮、硫 酸度和缺磷对于改善热带天然贫瘠土壤是必须要立刻解决的问题。但是缺乏锌和钾往往也会限制作物产量，在提高土壤肥力工作中必须要考虑到这两种元素。像水稻，玉米等禾本科，以及在高产土壤中，缺锌较为明显（EMBRAPA, 1976, 1978）。施用硫酸锌或氧化锌大约 10 公斤 Zn / 公顷就足够较长时期的利用。含有 Zn 的 N-P-K 肥料产品亦常使用。

对于许多土壤，如果从第一年起就希望获得高产，在施入的肥料中应该包括钾肥（Ritchy, 1979）。在一种土壤自然钾素水平为 23 ppm（Mehlich 提取剂）的土壤中，施入 75 公斤 K_2O / 公顷比对照有明显的产量反应。事实上，钾肥每年采用维持施肥量一般就可以了。其实际用量要决定于土壤钾状况和栽培制度，一般为 30-60 公斤 K_2O / 公顷。起始施用量过高会引起 K 淋失。

氮素状况各种土壤都不一样，在第一年有机质分解释放的 N

数量往往很高。在作物轮作,复种制度中包括一些豆科(蚕豆,大豆等)是普遍可行的措施。氮肥少量用在种植初期,其余大部分在后期侧施,可以减少淋失。肥料N的回收率大约为55%。大豆可以在无N条件下获得高产。这表明共生固N具有很高的潜力。

在热带地区许多土壤中,由于硫有效性不高,而N, P, K肥料现在一般很少含硫(尿素,三重过磷酸盐和氧化钾),可能出现缺硫现象。

减少旱灾风险

如前所述,在稀树草原地区雨季和湿润热带短期旱季,由于降雨分布无常,在作物发育关键时期(主要为开花到结实阶段)会遇到间歇干旱,引起明显减产(Espinoza, 1979)。这种间歇干旱造成严重危害的原因是由于蒸发量太高,土壤有效水量很低,底土层酸度很高(铝饱和度高,有效Ca低)使根系发育不良的缘故。

这种水分紧张问题彻底解决是很困难的,但是有许多途径可以缓和。其中可供选择的有许多作物管理技术,包括:(1)选择能有效利用水分或耐旱的作物和品种;(2)选择能耐底土层酸性的作物和品种;(3)选择生长期适当的作物和品种。可以通过播种期的调节使作物临界生长阶段错开可能出现干旱的时期。

有可能采用灌溉的地区只是很小一部分。但是这项解决办法也需要许多水管理知识和大量的投资。

最后,很重要的一项措施是合理的土壤管理。有许多管理技术是可行的。施入作物残茬或绿肥可以增加土壤有效水;在小面