

热带土壤低投入管理技术

P. A. Sanchez, J. G. Salinas

中国科学院南京土壤研究所

图书情报研究室编印

1984年1月

热带土壤低投入管理技术 *

E. A. Sanchez

(美国北卡罗来纳州立大学土壤学系)

J. G. Salinas

(国际热带农业研究中心, 哥伦比亚)

目 录

I. 导言	1
A. 热带酸性土壤	2
1. 分布范围 2. 主要抑制因素	
B. 低投入技术的概念	10
1. 采用适应土壤抑制因素的作物 2. 单位肥料量的最高生产率 3. 利用酸瘦土壤本身的属性	
C. 低投入土壤管理技术的主要内容	19
II. 选择适宜地区和土壤	20
III. 选择耐酸性作物	23
A. 一年生粮食作物	25
B. 多年生和木本作物	30
C. 禾本科和豆科牧草	33

* 原文题目为: "Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America".

1. 对铝的忍耐能力	2. 低水平的土壤有效磷	3. 水分紧张压力	4. 病虫害危害	5. 耐焚烧能力	
D. 结论					4 1
IV. 地面覆盖物的培育与保持					4 2
A. 雨林地区土地开垦方法					4 2
1. 灰分提供的养分	2. 土壤压实	3. 表层土壤移动			
4. 可供选择的土地开垦方法					
B. 热带雨林开垦后土壤动态变化					4 8
1. 土壤有机质	2. 开垦初期土壤养分有效性增加	3. 土壤肥力下降形式			
C. 热带雨林地区开垦后整地和立苗技术					5 4
D. 稀树草原的土地开垦方法					5 6
E. 草原地区作物和牧草立苗					5 7
1. 改善天然草原	2. 用良种牧草逐步代替天然植被				
3. 稀播法	4. 采用先锋作物				
F. 牧场的保护					6 3
G. 覆盖, 绿肥, 和管理休闲					6 4
1. 覆盖	2. 绿肥	3. 管理休闲			
H. 间作复种制					6 9
1. 粮食作物间作	2. 一年生与多年生作物间作	3. 林牧间作			
I. 结论					7 4
V. 土壤酸性的改良和管理					7 4
A. 施用石灰减少铝饱和度					7 5
1. 石灰用量测定	2. 优质石灰物质的使用	3. 石灰残效			

B. 石灰做钙镁肥	82
1. 钙镁有效性 2. 需要量 3. 钙和镁向下层移动	
C. 耐铝品种的选育	95
1. 一年生作物筛选 2. 牧草种类筛选	
D. 耐锰毒品种的选择	98
E. 结论	101
VI. 磷管理	102
A. 磷肥施用量和方法	103
1. 一年生作物 2. 牧草	
B. 需要改善土壤肥力评价方法	110
C. 低溶性磷源的利用	116
1. 磷源比较 2. 磷矿粉细度 3. 在种植对酸性敏感作物时 磷矿粉在施用石灰前施入 4. 磷矿粉与可溶性磷肥配合使 用 5. 磷矿粉部分酸化 6. 磷矿粉加热转化	
D. 通过施用石灰减少土壤对磷的固定作用	125
E. 选择适应土壤有效磷低水平的品种	131
1. 一年生作物 2. 牧草	
F. 有效菌根组合的可利用潜力	134
G. 结论	137
VII. 天然低肥力土壤的管理	137
A. 最大限度利用生物固氮作用	138
B. 提高氮肥和钾肥的肥效	141
1. 氮肥 2. 钾肥	
C. 硫素和微量养分缺乏的鉴定和矫正	143

D. 促进养分再循环	145
E. 结论	149
VII. 讨论	150
A. 低投入技术和高投入技术	150
B. 低投入技术体系的生产力	153
C. 开采土壤, 还是改善土壤?	154
D. 需要研究的问题	156
VIII. 摘要	159

参考文献

I. 导 言

世界粮食生产和人口增长之间竞赛的后果主要影响着热带地区，在这里居住着世界上绝大多数营养不良的人们。自1965年到1975年这十年间，在缺粮国家里粮食增加速度略高于人口增长（IFPI, 1978）。这项成就归之于多种因素，其中占主导的农业因素是选育了适于先进农业技术若干作物高产品种。这些品种大部分在水肥充足条件下具有高产性能，把它们种植在高盐基的肥沃土壤上，在充分施肥和保证供水的条件下，取得巨大成功是不足为奇的。这种通过施用必要数量的肥料和改良剂，达到消除土壤抑制因素的做法，人们称作为高投入土壤管理技术（high-input Soil management technology）。它的基本概念是改变土壤去满足植物营养需求。这种高投入管理方式是我们今天世界粮食产量水平的主要支柱，而且在经济条件允许的地方，毫无疑问今后必将继续下去。

但是，对于一些边远土地，水土抑制因素严苛，很难得到廉价消除，所以高投入土壤管理技术在这里的适用性就很小了。自1973年之后消费石油的产品价格在不断猛涨，这就在经济可行性方面进一步限制了以大量投入物质为基础的土壤管理技术。对于资金有限的热带农民来说，尤为如此。在热带目前许多研究工作的方向是发展低投入土壤管理技术（low-input Soil management technology）。这项技术并非排除肥料和改良剂的施用，而是力图采用一系列技术措施，最大限度的提高投

资效益。低投入土壤管理技术的基本概念是，通过种植对土壤现有抑制因素具有抗逆能力的作物和品种，最有效的利用有限数量的投入物质，由此减少投入物质用量而获得虽不是最高但是十分有利的产量。

关于植物对于酸性土壤压力适应能力的基本知识，虽然几十年之前已为人们所知晓 (Levitt, 1979)，但是依据植物这种适应能力制定土壤管理技术，为此进行系统的研究，这只是最近几年才开始的事 (Foy and Brown, 1964; Spain et al., 1975; NCSSU, 1975; Foy, 1976a; Salinas and Sanchez, 1976; Wright, 1976; Foy and Fleming, 1978; Loneragan, 1978)。

本文目的是将适用于热带美洲排水良好的酸瘦土壤（主要划入氧化土和老成土）的低投入管理技术有关事例汇集在一起，并加以评述。虽然这些事例是全面生产体系的组成部分，但是至今为止还很少有人为制定一种耕作体系而对所有必要的技术内容进行研究。本文援引的事例绝大多数来自热带美洲，而且是作者亲自经历过的，世界其他各地所做的一些重要工作并没有包括在内。文中关于土壤及土壤水分状况的术语采用的是美国土壤系统分类制中的词汇 (Soil Conservation Service, 1975)。

A. 热带酸性土壤

十分概括地讲，热带粮食增产主要有三条途径：提高现有耕地单产，开垦新耕地，和扩大灌溉地。前两条途径都需要缓和或消除来自土壤方面抑制因素，而第三条途径需要消除的主要抑制

因素是水分紧张压力。Bentley 等人(1980)调查了这三种可供选择的办法。他们的结论认为这三种做法都是必需的,不过其中以扩大灌溉所需费用最多,而应用的面积很小。对于世界粮食增产来说,毫无疑问主要是依赖提高已有耕地生产力。但是最近Dudal(1980)引用的粮农组织(FAO)的预测数字表明,在以后20年间必须使粮食产量增加60%,才能保持目前很不足的每人平均粮食水平。根据Dudal的进一步测算,仅是达到这一目标,光靠已有耕地增产也是不够的,必须在未来20年间还要开垦2亿公顷土地用于农业。这项数字大致相当于美国现有作物种植面积。能做到吗?答案主要决定于我们对热带酸性土壤的利用。

4. 分布范围

世界上可耕种的土地资源中现在已利用的大约40% (Buringh et al., 1975)。开拓世界农业新疆域,潜力最大的地区位于热带雨林和稀树草原地区。在这里酸性土壤占优势,它们主要属于氧化土和老成土(Kellogg and Orvedal, 1969; National Academy of Sciences, 1977a)。在这些广阔地区里,大部分地形有利于农业;气候炎热,植物可周年生长;70%的地区全年雨水充沛,而其余30%地区也有6-9个月的雨季(Sanchez, 1977)。这些地区发展农业,普遍而严厉的限制因素是土壤自然肥力低,交通闭塞,而且缺乏基层市场结构。

表1所示为热带氧化土和老成土占优势地区的大致范围。两

者共计15.82亿公顷，占世界热带地区43%。按照过去的估计(Sanchez, 1976)氧化土和老成土的比例大体相等。根据最新资料，在非洲和拉丁美洲氧化土比过去人们认为的要少。但是氧化土和老成土占优势的总面积仍然和过去的计算十分接近。氧化土大部分集中出现在南美稀树草原地区，亚马逊地区东部，以及非洲的中非共和国部分地区。氧化土一般位于古老稳定的地形，适于机械化农业。老成土在热带美洲、非洲、以及东南亚都有大面积分布。这些地区大部分正处在迅速开发过程中。

表1其他各栏还包括另外一些在土壤性质和生产潜力都很近似的酸性土壤：排水通畅的酸性始成土（不饱和热带始成土

--Dystropepts），酸性火山灰土（不饱和火山灰始成土--Dystrandepts），及排水通畅的酸性红砂土（氧化石英砂新成土--Oxic Quartzipsamments）。本文不包括排水不良具有潮湿(aquic)土壤水分状况的酸性土壤。

十分概括地说，热带美洲可划分为两大区，两者农业制度和土壤限制因素都有所不同(Sanchez and Cochrane, 1980)。热带美洲大约30%（4.05亿公顷）地区，比较肥沃盐基饱和度高的土壤占优势，这里人口稠密。其余70%的地区，属于氧化土和老成土的酸性土壤占优势，这里人烟稀少，大部分被稀树草原和森林植被所复盖。

尽管人们普遍认为，氧化土和老成土在热带不可能维持持久的集约化农业(Mc Neil, 1964; Goodland and Irwin, 1975)，但是已有大量论据证明，这些土壤可以持续种植，对于一年生作物(Sanchez, 1977; Marchetti and Mach-

表1. 世界热带地区土壤大致分布面积^a

土壤组合	热带 亚洲 ^b (10 ⁶ 公顷)	热带 非洲 ^c (10 ⁶ 公顷)	热带 亚洲 ^d (10 ⁶ 公顷)	澳大利 亚 ^e (10 ⁶ 公顷)	总计 (10 ⁶ 公顷)	位热带 (%)
氧化土	502	316	15	—	833	23
老成土	320	135	286	8	749	20
新成土	124	282	75	93	574	16
淋溶土	183	198	123	55	559	15
始成土	204	156	169	3	532	14
变性土	20	46	66	31	163	5
旱成土	30	1	23	33	87	2
软土	65	—	9	0	74	2
暗色土	31	1	11	0	43	1
有机土	4	5	27	—	36	1
灰土	10	3	6	1	20	1
共计	1493	1143	810	224	3670	100

a. 根据 FAO - UNESCO (1971-1978) 数值 (需要修订)。

b. 根据 23°N - 23°S, 本文第一作者提出的最新资料。

c. 指 150 天生长期以上地区, 根据 Dudal (1980)。

d. 包括印度, 孟加拉, 和印度支那的部分温带, 以及巴布亚新几内亚。

e. 南回归线以北, 根据 Sanchez 和 Isbell (1979)。

ado, 1980), 牧草 (Vinciente-Chandler et al., 1974), 以及多年生作物 (Alvim, 1976) 都可以实行集约管理。夏威夷的氧化土和老成土, 美国东南部的老成土, 以及中国东南部的老成土的情况就是如此, 这些土壤一直在养活着大量的人口。

2 主要抑制因素

在热带美洲及其酸瘦土地地区, 关于主要土壤抑制因素, 根据初步估计结果载于表2。在氧化土和老成土区中, 最广布的是属于化学方面的抑制因素而不是物理因素。其中包括缺乏磷, 氮, 钾, 硫, 钙, 镁, 和锌, 此外还有铝毒和磷素强烈固定作用。主要土壤物理抑制因素包括许多氧化土有效持水量很低; 属于砂性表土的许多老成土易于遭受侵蚀和出现板结; 砖红壤物质 (Laterite) 危害范围很小, 柔韧的网纹体 (plinthite) 大多数出现在低平地形的底土层, 这种土壤不容易受到侵蚀。在热带美洲的高盐基土壤地区, 主要土壤抑制因素是干旱压力, 缺氮, 和侵蚀危害 (Sanchez and Cochrane, 1980)。

当氧化土和老成土施用石灰和必要数量的肥料, 消除其化学土壤抑制因素之后, 这些土壤将会进入世界最高生产力土壤之列。图1所示是波多黎各老成土, 在其他所有肥力抑制因素消除之后, 施足氮肥的情况下获得的象草 (*Pennisetum purpureum*) 干物质年产量, 这一产量接近于根据Dewitt (1967) 计算得到的热带地区最高潜在产量60吨/公顷/年。图2是另一个例

表2 热带美洲(23°N—23°S)及酸瘦土优势地区主要土壤抑制因素的地区范围^a

抑制因素	热带美洲 1493 10 ⁶ 公顷		酸瘦土区 1043 10 ⁶ 公顷	
	10 ⁶ 公顷	佔总面积 (%)	10 ⁶ 公顷	佔总面积 (%)
缺 N	1332	89	969	93
缺 P	1217	82	1002	96
缺 K	799	54	799	77
P 强烈固定	788	53	672	64
Al 毒	756	51	756	72
缺 S	756	51	745	71
缺 Zn	741	50	645	62
缺 Ca	732	49	732	70
缺 Mg	731	49	739	70
水紧张 > 3个月	634	42	299	29
持水容量太低	626	42	583	56
ECEC 低	620	41	577	55
侵蚀危害大	543	36	304	29
缺 Cu	310	21	310	30
水涝	306	20	123	12
板结危害	169	11	169	16
砖红土危害	126	8	81	8
缺 Ee	96	6	?	?
酸性硫酸盐土	2	0	2	0
Mn 毒	?	?	?	?
缺 B	?	?	?	?
缺 Mo	?	?	?	?

a. 根据 Sanchez and Cochrane (1980)。

b. ECEC (有效 "effective" 阳离子交换量)
= 交换性 Al + 交换性 Ca + 交换性 Mg + 交换性 K。

子。在巴西利亚粘质氧化土上，当撒施563公斤P/公顷以满足高量需磷，通过施用石灰和肥料矫正土壤其他化学抑制因素之后，一季玉米籽实产量达到6.3吨/公顷。

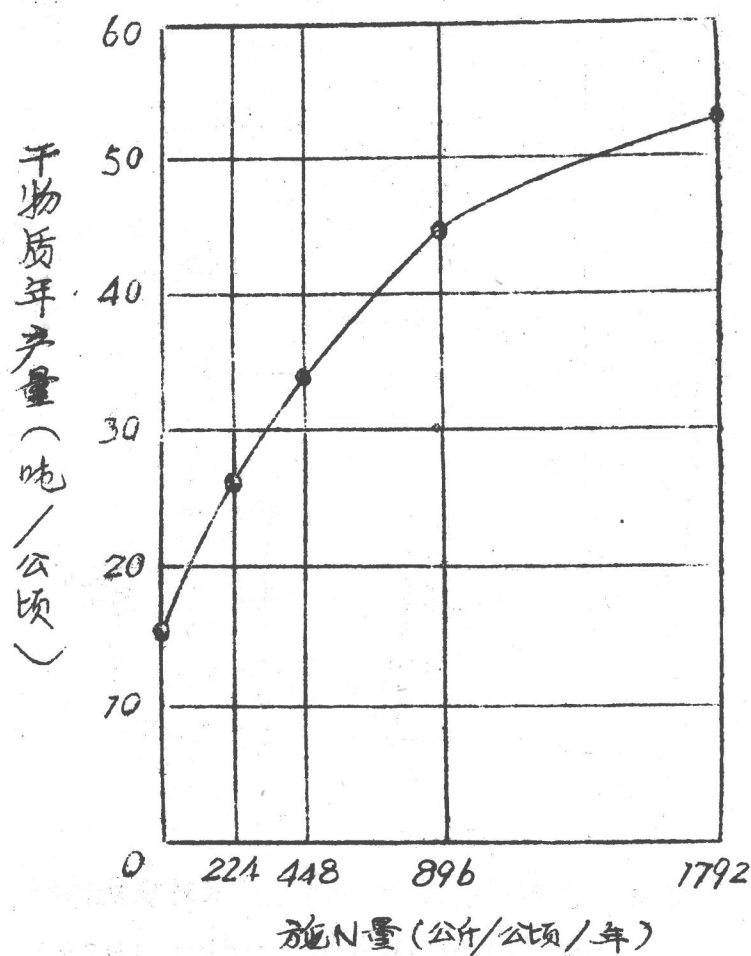


图1 波多黎各湿润山地老成土在集约管理下
象草干物质产量 (Vicente-Chandler et al.
1974)

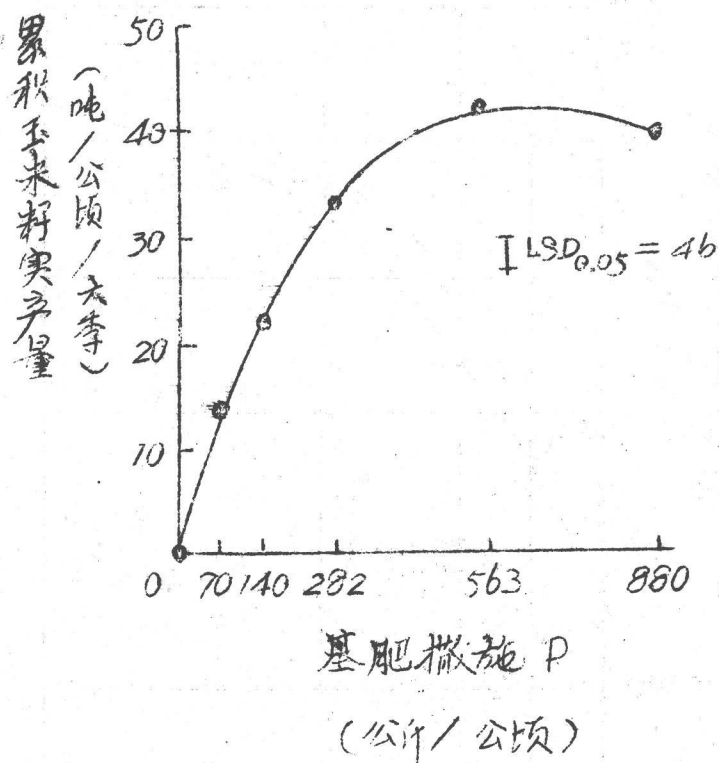


图2 巴西热带草原氧化土玉米对磷肥的籽实产量反应 (来源: MCSU, 1978)

上述这种高投入管理方针, 既是按目前市场农产品价格比肥料成本便宜的情况下, 仍然是十分有利可图的。只要在经济条件和基层组织结构允许的情况下, 这种高投入管理技术就必然会:

发展起来。

B. 低投入技术的概念

在热带大多数酸性土壤区，不存在完备的市场条件。在这里肥料和石灰价格昂贵或者根本无处购买；运输成本也很高；更为明显的理由是投资风险太大。前两种情况是无须解释的，第三种情况举例说明于图3。该图表明，在哥伦比亚波帕扬（Popayan）具有高度固磷能力的典型不饱和火山灰始成土（Typic Dystrandept）上，蚕豆（*Phaseolus Vulgaris*）对磷的反应。根据边际利润分析结果，把后两季作物获得的残效也考虑在内，最佳施磷量为507公斤/公顷。经济学家进一步成本分析还会发现，农民每季作物总投入为1500美元/公顷，这时接近最高产量，获得纯利润375美元/公顷（CIAT, 1979）。尽管这说明投资利润达到了25%，但是大多数资金匮乏的农民对于这种投资并不感兴趣。他们考虑的理由是，作物受干旱，病虫害危害，产量变化不定，以及难以预料的物价波动，这些给投资带来的风险太大。

低投入土壤管理技术的基本原则有三项：(1)让作物去适应土壤抑制因素，而不是完全消除土壤抑制因素去满足植物需求；(2)每单位投入物获得最高产出量；(3)充分利用酸疲土壤的有利属性。应该强调指出的是，上述原则并没有任何消除施用肥料的意图。

1. 采用适应土壤抑制因素的作物

酸性土壤低投入管理技术的第一个基本概念，是利用对土壤

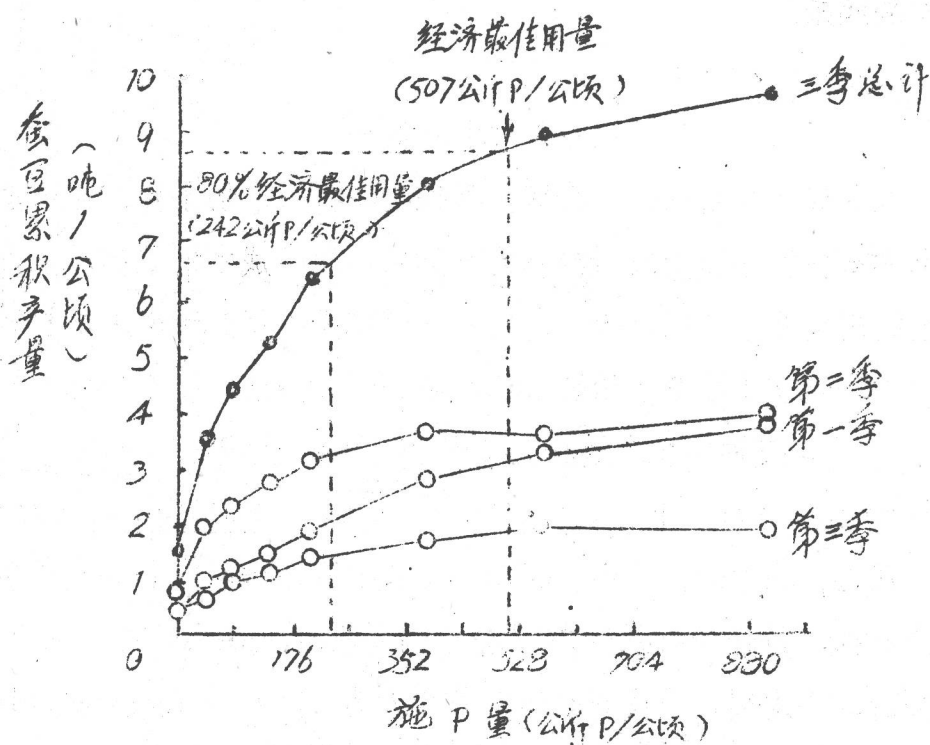


图3 在哥伦比亚典型不饱和火山灰始成土上蚕豆对施P量的反应 (来源: CIAT, 1979)

抑制因素具有忍耐能力的作物种类和品种, 直接缓和或克服土壤抑制因素。表2中所列的土壤抑制因素中, 人们了解比较多的是植物耐铝毒的能力, 其次是对于低水平土壤有效磷的忍耐性。关于植物耐锰毒及耐其他低量养分的特性方面, 研究资料还很少。

图4和图5表明, 在两种稀树草原氧化土上, 产量对施用石灰表现出来的两种不同反应形式。图4所示为种植在哥伦比亚 Carimagua 薄层干氧化土 (Haplustox) 上的两种旱稻品种对施用石灰的不同反应。这种氧化土在施石灰前 pH 值 4.5, 铝

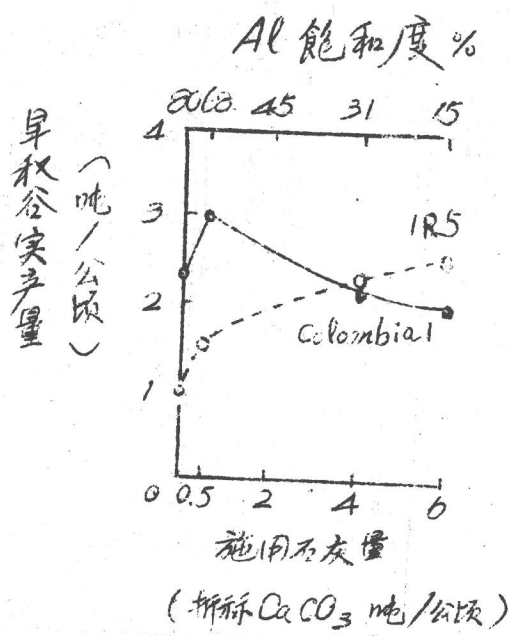


图 4 在哥伦比亚氧化土上两种旱稻品种对铝饱和度
和施用石灰的不同反应 (摘自 Spain et al., 1975)

饱和度 80%。在不施石灰条件下, 高秆品种 Colombia 的产量比矮秆 IR 5 品种高 1 倍还多。Colombial 品种只是对于第一级石灰用量为正反应, 石灰用量再高均为负反应。Spain 等人 (1975) 把产生这种性状的原因归之为 Colombia 对石灰中含有的钙和镁表现出营养反应, 而石灰用量再高出现倒代 IR 5 品种的情况恰好相反, 它是在菲律宾国际水稻所高肥土壤条件下培育的。在这里 IR 5 品种产量对施用石灰有明显反应。