

# 退化红壤肥力障碍特征及重建措施<sup>①</sup>

## II. 磷、氮、钾库重建措施

鲁如坤 时正元

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

S156.6

X171.4

**摘 要** 本文为本系列的第二部分。研究表明,在退化红壤磷库重建中,施用磷肥,可迅速重建磷库,显著降低土壤的磷素最大吸附量,可以增加红壤保水能力,表明施用磷肥有着多重作用。有机肥在退化红壤养分库重建中有着重要作用,它可更快地重建土壤磷库、钾库。对提高土壤全氮水平也比单用化肥为快。结果充分说明,在恢复重建退化红壤养分库时,本文的有关措施是有效的,而且磷、钾库的重建可以比较迅速地达到。

**关键词** 退化红壤;养分库重建; 磷肥. 有机肥. 施肥技术. 厩肥. 钾肥.

退化红壤最主要的问题是养分贫瘠,这是土壤长期退化的结果,主要是土壤侵蚀造成的,所以改良红壤进而培育肥沃的土壤,首先是养分库的重建。为了研究这一问题,我们在江西鹰潭中国科学院红壤生态站,在第四纪红色粘土发育的退化红壤上进行了长期试验,这里是关于养分的重建部分。

### 1 材料和方法

培育试验(土壤有效磷水平和水溶磷的关系),试验用四种土壤(第四纪红色粘土发育的红壤、玄武岩发育的砖红壤、第三纪红色砂岩发育的红壤性水稻土和第四纪红色粘土发育的红壤性水稻土)。分别加入不同量的磷酸二氢钾溶液,使达到不同水平的有效磷,放置60天后,分别测定土壤水溶磷和 Olsen-P。

其它大田试验和室内分析见本文系列第一部分<sup>[1]</sup>。

### 2 结果和讨论

#### 2.1 退化红壤磷库重建措施及减少磷素固定的途径

大量结果已经证明,退化红壤第一位的养分限制因素是磷的贫瘠和巨大的磷素固定能力。长期试验证明,退化红壤上不施磷肥,作物没有收成。最近采集的红壤区的148个标本也表明,有效磷在极低水平的占41%,低的占33.1%,两项合计占74.1%。

红壤(包括退化红壤)的巨大固磷能力是大家所知道的,我们对111个红壤区土壤的研究表明<sup>[1]</sup>旱地红壤磷(P)的固定量最高达1297mg/kg,平均409mg/kg。

##### 2.1.1 磷库重建措施

###### (1)施用化学磷肥

重建退化红壤磷库,很显然必须施用磷肥。表1表明,施磷肥有巨大的增产效果。

① 国家“九五”攻关(96-044-03-12)和中国科学院重大项目(KZ-95T-04-01-18和KZ951-AI-301-01)支持

施磷不仅大大提高了产量,而且土壤有效磷水平也极大的改善了(表2)。

表1 退化红壤的施磷效果

作物	平均产量(kg/hm <sup>2</sup> )		增产(倍)
	NK	NPK	
花生籽实(11季)	26	1512	58
油菜籽(4季)	0	766	∞
绿肥(3季)	90	1006	11

### (2)施用厩肥

研究证明,施用厩肥是提高退化红壤磷库更加有效的措施(表3)。

表3表明,施用厩肥比施用化肥可以较快地重建退化红壤的有效磷库,表中也表明,其它种类有机肥,如秸秆(稻草),绿肥等,对提高土壤有效磷作用远低于厩肥。

### 2.1.2 减少红壤对磷素固定的途径

#### (1)磷肥和有机肥在减少磷素固定中的作用

退化红壤对施入磷肥的巨大固定作用使得磷肥肥效显著降低,当季利用率很低,如何克服这一因素是重建红壤肥力的重要内容之一。为此,我们对6种经过不同处理的红壤进行了磷吸附等温线的研究,并用Langmuir式进行拟合,求出不同处理土壤的最大吸附量和与磷结合能有关的常数K值,结果列于表4。

表4结果表明,退化红壤施用磷肥和各种有机肥(厩肥、稻草、绿肥)均能有效的降低退化红壤的吸附量,从而大大减少土壤对磷肥的固定量。但是施用氮肥和钾肥无此作用。

显然,退化红壤施用磷肥可以占据一部分或大部分磷的吸附位,从而减少磷的固定量,而施用各种有机肥减少最大吸附量的原因较复杂,其中一个作用可能是有效地掩蔽了土壤磷的吸附位。同时,表4的结果也表明,施用各种有机肥都可显著减少“K”值,即减小土壤和磷间的结合能。

#### (2)改进施磷技术

为了减少红壤对磷的固定我们进行了施磷技术的大田试验<sup>[4]</sup>,结果列于表5。

表5结果表明,磷肥(过磷酸钙)撒施使玉米产量有了增加(处理1、2),但增加不大,这可能是受巨大的磷的固定的抑制,如果磷肥采用穴施的办法来减少磷肥和土壤的接触

面积,以减少对磷肥的固定,这样肥效就增加了一倍(处理2、3),这说明减少磷肥的固定有显著的增产作用,如果进一步把氮肥(尿素)也和磷肥一起穴施,,则产量进一步增加,磷肥肥

表2 施用磷肥对土壤有效磷库的影响

年 份	有效磷(P mg/kg)	
	NK	NPK
1990	1.1	7.9
1992	1.0	12
1994	微量	19
1998	1.4	30

表3 有机肥对重建红壤有效磷库的作用

年份	有效磷(P mg/kg)			
	对照(化肥磷)	厩肥	秸秆	绿肥
1998(原始土)	3.9	-	-	-
1990	18	74	15	18
1994	19	116	13	20
1998	27	106	11	25

表4 减少红壤磷素固定量的基本途径

处 理	最大吸附量 (P, mg/kg)	K 值	回归方程 相关系数
退化红壤	1761	0.84	0.996
施NK肥	1760	0.89	0.996
施NPK肥	746	2.82	0.991
施厩肥	909	0.027	0.990
施稻草	667	0.5	0.994
施绿肥	669	0.3	0.990

表5 减少红壤磷素固定措施的增产效果

处理	产量(玉米) kg/hm <sup>2</sup>	相对%	显著性*
1. NK	3963	100	a
2. NP(撒)K	4253	107	b
3. NP(穴)K	4503	114	c
4. N(穴)P(穴)K	4827	122	d
5. 同4+牛粪	4722	119	d

\* 不同字母表示产量差异达到5%显著性

效提高了两倍(处理 2、4)。处理 4 所以能更大的增产原因可能不止一个,我们认为,在处理 4 的情况下,尿素穴施起了良好作用,是因为尿素和磷肥在穴中紧密混合,当尿素水解产生高 pH,使穴中 pH 升高从而抑制了红壤中 Fe、Al 对磷的固定作用,磷肥和土壤的反应产物(可能有一部分是磷酸钙盐)远比在 pH 低时所形成的产物有效性高,随后硝化作用使穴中 pH 下降,形成的一部分磷酸钙盐有效性随之增加。如果尿素不和磷肥共同穴施(处理 3)上述作用即不存在,就不能进一步提高磷肥的有效性。

国外有人认为尿素在土壤中水解产生的高 pH,可以使土壤中的有机质进行胶溶,产物可以掩蔽土壤的吸附位,但由于红壤有机质含量低,这种作用可能不大。表 5 表明,即使在红壤中加入有机物(牛粪,处理 5)也未见到有进一步的肥效提高。

### 2.1.3 磷库重建中可能产生的环境问题

在退化红壤磷库重建过程中,磷素在土壤中不断积累,这种情况已在两个典型乡(余江洪湖和金华开化)得到证实。本文表 2、表 3 中的结果也证明,在施肥不长的时间(几年)中,退化红壤的有效磷(P)水平已最高可达 30 和 100mg/kg 以上,这就产生了一个问题,即退化红壤磷库重建过程中,有效磷水平过高的积累将可能对环境主要是地面水源带来不利影响。为了了解不同红壤土壤有效磷水平和水溶磷的关系。对几种红壤进行了培育试验,结果列于表 6。

表 6 结果表明,两种旱地土壤(红壤和砖红壤)有着巨大的固磷能力。这个对磷肥肥效不利的因素,在这里却是一种有利因素,因为固磷能力大就使进入液相的磷大大减少,从而减少对环境的威胁。表 6 中可以看到,这两种土壤,一次加入 240mg/kg - P (相当于 540kg/hm<sup>2</sup> - P),在液相未发现水溶磷,只有施入磷高达 360(砖红壤)和 480mg/kg - P 时液相才出现水溶磷,此时的 Olsen - P 水平为 44 和 70mg/kg,在生产实际中达到如此高的有效磷水平的土壤不多。但是值得注意的是,红壤性水稻土出现水溶性磷的 Olsen - P 值要低的多。表 6 表明,两种水稻土开始出现水溶磷的 Olsen - P 水平分别为 18 和 19mg/kg,这种水平在南方水田中并不少见,而且在重建过程中并不难达到。特别值得注意的是,在这一 Olsen - P 水平时,水溶磷的水平大大超过 0.1mg/L(1mg/kg, P 相当于 2.5mg/L, ρ)。

一般认为渗漏水中的磷的浓度只要达到 100 μg/L(0.1mg/L)即可造成富营养化<sup>[3]</sup>,如果总渗漏量在 100mm 时,每公顷渗漏水中磷总量(P)只要达到 0.1kg,即可使渗漏水中磷浓度达到 0.1mg/L。因此。即使在磷固定量大的红壤区,土壤重建中磷的积累可能带来的环境问题从长远看也不可忽视,特别对高产水田。

### 2.2 退化红壤氮库重建、土壤全氮库的重建

表 7 的结果表明,重建红壤氮库,施用厩肥仍然是最有效的措施,其它有机肥和化肥也

表 6 土壤 Olsen - P 水平和土壤水溶性磷的关系

土壤	加入磷量 (mg/kg, P)	施磷 60 天后(mg/kg, P)	
		Olsen - P	水 - P
第四纪红壤	240	24.4	-
	360	44.4	-
	480	70.4	2.2
砖红壤	240	30.4	-
	360	44.2	4.4
	480	83.6	9.4
第三纪水稻土	0	12	-
		21.6	1.1
		36.6	1.7
		60	3.4
		72	5.3
第四纪水稻土	0	14	-
		21.6	0.6
		36.6	-
		60	1.2
		72	2.0

有一定作用,不过施用化肥的效果是最小的。

研究表明,施用化学氮肥和有机肥都能增加红壤的碱解氮量。

### 2.3 退化红壤钾库重建

#### 2.3.1 化学钾肥的作用

大量结果表明,红壤区土壤有效钾水平相对较高,但仍不足以满足作物生长的需要,因此,退化红壤养分库重建中仍然必须考虑钾库的重建。

我们的长期试验结果表明(表8),施钾肥一年以后(施两季,每季施  $K_2O$   $150kg/hm^2$ ),土壤交换性钾(K)由  $69mg/kg$  迅速提高到  $260\sim 320mg/kg$ 。1991年后每年仍施钾肥,但用量减半( $75kg/hm^2$ ,  $K_2O$ ),土壤交换性钾下降,但仍保持在  $250mg/kg$ (K)以上(NK处理除外,可能由于淋失太大)。1995年后每年只施一季( $75kg/hm^2$ ,  $K_2O$ ),交换性钾进一步下降,但仍保持在较高水平。

从表8可以知道,退化红壤有效钾库重建和年施钾量有很好的相关,但是,应该注意到在施钾量相同的情况下,NK处理作物产量很低,交换性钾水平应该上升最快,但实际却是最小。这可能是由于没有作物覆盖,淋失较大的缘故。我们的室内试验表明,红壤、红壤性水稻土、砖红壤等土壤,加入化学钾肥后,在大部分土壤上,水溶态K占加入钾的比例都在50%以上,水溶钾比例最高达80%,这说明在红壤这类土壤上,由于大量高价Al存在于交换复合体中,一价的K在一般用量情况下大部分不能进入交换状态,这就为在红壤区钾的淋失创造了条件,因此,在退化红壤钾库重建中,必须注意减少K的淋失。

#### 2.3.2 不同有机肥的作用

表9表明,不同有机肥在正常的用量条件下(厩肥季施  $30000kg/hm^2$ ,绿肥  $15000kg/hm^2$ ,稻草  $3000kg/hm^2$ ),对退化红壤钾库重建的作用是不同的。厩肥施用10年后,土壤交换性钾比对照(施少量化学钾肥)还低,但施稻草的处理比对照有了明显的增加,本田秸秆还田比对照也有稍许增加。由此可知,红壤钾库重建最有效的是化学钾肥,在条件可能时,施用稻草也是一个较好的措施,本田秸秆还田比较易于实行,但效果较慢,而厩肥在钾库重建中作用较小。

### 2.4 一个可能的改善红壤水份状况的措施

红壤区季节性干旱是一大生产限制因素,但解决起来难度较大,因为红壤丘陵区不少地方大面积发展灌溉事业的条件往往不具备,因此,如何另辟途径是一个需要探索的问题。

我们意外发现长期试验(基础试验)的所有施磷小区的土色都明显比不施磷小区深一些,似乎水份含量有某些差异。我们测定结果如表10<sup>[5]</sup>。

表10结果表明,施用磷肥确实可以使土壤水份状况有所改善,所有施磷肥小区,土壤的

表7 施肥(11年)对土壤全氮量的影响

年份	土壤全氮量(g/kg)				
	原始土	化肥	厩肥	秸秆	绿肥
	0.34	-	-	-	-
1989		0.40	0.70	0.50	0.50
1992		0.47	0.75	0.52	0.59
1998		0.72	1.13	0.75	0.88
11年增加		0.38	0.79	0.41	0.54

表8 退化红壤有效钾库重建(1988-1998)

年份	NP	NPK	PK	NK	NPKCa	施钾处理平均
1989	64	282	324	266	297	292
1990	66	289	316	267	312	296
1992	58	216	330	188	231	2441
1994	61	250	332	216	294	273

表9 不同有机肥在钾库重建中的作用(1988-1998)

年份	交换性钾(mg/kg, K)					
	原始土	对照	厩肥	稻草	绿肥	本田秸秆还田
1988	50	-	-	-	-	-
1994	-	248	206	320	246	268
1998	-	240	227	316	328	270

水份含量比不施磷小区增加了 10~18%，这一水份状况的改善，在遇到干旱时可能有重要意义。这方面国内没有报道，但我们在国外文献<sup>[3]</sup>中看到一篇长期试验综述中提到了红壤长期施用磷肥可以改善土壤水份状况，这可能是一个普遍现象，但国外文献提到只有酸性磷肥才有此作用，因为只有酸性磷肥才能形成磷酸铝胶结物，从而增强了土壤的保水能力，而我们用的是碱性磷肥(钙镁磷肥)，结果<sup>[5]</sup>

表明，在红壤上，各种不同酸度的磷肥都能在不同程度上使红壤增加保水能力，甚至磷酸一钙加石灰调至 pH 8.0，仍能有提高红壤保水能力的作用，可见在红壤上施各种磷肥都对红壤保水能力具有有益的作用。但在石灰性土壤上(pH 8.2)即使施用酸性磷肥也不能提高土壤保水能力。这可能是因为在酸性

红壤上施用各种磷肥其反应产物都会生成具有胶结能力的磷酸铝和磷酸铁，而在石灰性土壤上是不可能大量生成这类胶结物质的。试验也证明，施用不同磷肥可在短期内增加红壤保水能力。

表 10 施磷对红壤水份含量的影响

处理	水份平均含量(%)	相对(%)	差异显著性(%)
NK	21.2	100	b
NPKCaS	24.0	113	a
NPKCa	25.0	118	a
NPK	24.9	117	a
NP	24.5	116	a
PK	23.2	109	a

## 参 考 文 献

- 1 时正元, 鲁如坤. 我国南方红壤磷吸附量研究. 见: 中国科学院红壤生态实验站主编. 红壤生态系统研究. 第五集, 1998, 165~169
- 2 Johnston, A. E. Fertilizer and agriculture : 50 years of development and challenges. Proc. The Fert. Soc. 1997, N. 396
- 3 Haynes, R. J. and R. Naidu, Influence of lime, fertilizer and manure application on soil organic matter content and physical condition. A review. Nut. Cycl. Ag. Vol 1998, 51(2):123~137
- 4 鲁如坤, 时正元. 氮肥穴施对提高磷肥肥效的作用. 土壤, 1996, 28(4):220
- 5 鲁如坤, 时正元. 磷肥施用对红壤保水能力的影响. 土壤, 2000, 32(3)

\*\*\*\*\*

(上接第 300 页)

- 60 刘小虎等. 长期轮作施肥对棕壤腐殖酸动态变化的影响. 土壤通报, 1999, 30(2):68~70
- 61 Marr K, et al., Canada Journal of Soil Science, 1999, 79(2):385~387
- 62 曹仁林等. 钙镁磷肥对土壤中镉形态转化与水稻吸收镉的影响. 重庆环境科学, 1993, 15(6):6~9
- 63 De Pieri L A, et al., Canada Journal of Soil Science, 1997, 77(1):51~57
- 64 Giuffré de López Camelo L, et al., Sci. Total. Environ., 1997, 204(3):245~250
- 65 Brallier S, et al., Water, Air and Soil Pollut. 1996, 86(1/4):195~206
- 66 McBride M. Adv. Soil Sci., 1989, 10:1~57
- 67 Hooda P S & Alloway, B. J. J. Soil Sci., 1993, 44:97~110
- 68 Singh S P, et al., Agrochimica. 1997, 41:27~32
- 69 Hooda P S, Sci. Total. Environ., 1994, 149:29~51
- 70 Warwick P, et al., Chemosphere, 1998, 36(10):2283~2290
- 71 Asadu C L A, et al., Soil Science, 1997, 162(11):785~794
- 72 Mench M, et al., Environmental Pollution, 1997, 95(1):93~103