

浙江红壤性水稻土油菜-水稻-水稻轮作制中 磷矿粉的管理*

孟赐福^{1,2} 曹志洪^{1†} 姜培坤¹ 徐秋芳¹

(1 浙江林学院生命科学院, 浙江临安 311300)

(2 浙江省农业科学院环境资源与土肥料研究所, 杭州 310021)

摘要 为了探明磷矿粉在油菜-水稻-水稻轮作制中的有效施用方法, 在一个发育于第四纪红色黏土的酸性水稻土上进行了 3 a 田间试验。试验结果显示: 施用磷肥对油菜的增产效应显著比水稻大。当将过磷酸钙 $P 120 \text{ kg hm}^{-2}$ 分施于油菜、早稻和晚稻, 而将磷矿粉 $P 120 \text{ kg hm}^{-2}$ 集中施于油菜时, 油菜的增产效应: Gafsa 磷矿粉 > 昆阳磷矿粉 > 过磷酸钙; 早稻的增产效应: Gafsa 磷矿粉 \approx 昆阳磷矿粉 > 过磷酸钙; 晚稻的增产效应: 过磷酸钙 > Gafsa 磷矿粉 > 昆阳磷矿粉。Gafsa 磷矿粉和昆阳磷矿粉对油菜、早稻和晚稻的相对农学有效性分别为 108.7%、105.0%、99.6% 和 89.4%、104.8%、97.1%。增加磷矿粉用量或将磷矿粉与过磷酸钙混合分施于 3 季, 并未增加油菜和水稻的产量。油菜收获后的耕层土壤有效磷含量高于水稻收获后的耕层土壤有效磷含量。耕层土壤有效磷含量与油菜相对产量之间呈显著的正相关, 而与水稻相对产量之间则无显著的相关性。

关键词 农学有效性; 磷矿粉; 水稻土; 水稻; 油菜; 产量; 轮作制

中图分类号 S143.2 文献标识码 A

在热带、亚热带地区的轮作制中, 将磷矿粉直接作为磷肥较之施用酸化水溶性磷肥更为经济^[1]。我国云南、贵州、湖北等地有大量的中、低品位磷矿粉可以作为磷肥直接施用^[2]。20 世纪 70 年代以前, 我国南方地区的红壤稻田缺磷是作物产量的主要限制因子, 但 20 世纪 80 年代后土壤磷素含量有了显著提高^[3], 到 20 世纪末磷素一般处于盈余状态, 某些省区甚至存在盈余过大的问题^[4]。

磷矿粉的农学有效性主要受土壤特性、轮作条件和肥料管理等的影响^[5]。我国南方地区的稻田, 多实行水旱轮作。20 世纪 70~90 年代, 油菜-水稻-水稻成为南方最重要的轮作制度之一。虽然近 10a 来我国南方红壤地区有若干施用磷矿粉的试验^[6~9], 但尚无在油菜-水稻-水稻轮作制中施用磷矿粉对油菜和水稻产量影响的长期试验。鉴于水稻土在种植水稻时淹水使土壤有效磷含量提高^[10, 11], 油菜对磷矿粉中磷有很强的利用能力^[12] 以及作物对磷矿粉的吸收需要较长的时间^[13], 所以在 3a 的

田间试验中, 磷矿粉处理仅在油菜施用, 而过磷酸钙处理和过磷酸钙与磷矿粉混施的处理则分施于 3 季。本研究设计目的旨在评价不同磷源的农学有效性, 观察耕层土壤有效磷含量的周期变化, 并探讨耕层土壤有效磷含量与油菜和水稻产量之间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验地点与土壤性质

试验在浙江省中部的兰溪市孟湖乡的水稻土上进行。该地区属亚热带气候, 平均年降雨量 1 333 mm, 主要集中在 5 月和 6 月, 最高和最低月平均温度分别为 29.8 °C 和 5.3 °C, 年平均温度 17.1 °C。

试验地土壤母质为第四纪红色黏土, 排水良好, 砂、粉砂和粘粒含量分别为 293 g kg⁻¹、427 g kg⁻¹ 和 280 g kg⁻¹。0~15 cm 耕层的化学性质: 有机质 27.7 g kg⁻¹, pH (H₂O) 5.1, 阳离子交换量 8.25 cmol kg⁻¹, 代换性阳离子 Ca、Mg、K, 和 Na 分别为 1 030,

* 国家重点基础研究发展规划项目(19990118)和国际肥料发展研究中心资助

† 通讯作者

作者简介: 孟赐福(1941~), 男, 浙江义乌人, 研究员, 主要从事红壤改良和植物营养的研究工作。电话: 0571-86944394, E-mail: cifu@21cn.com

收稿日期: 2005-05-27; 收到修改稿日期: 2005-09-09

47, 298 和 62 mg kg⁻¹, 交换性铝 0.58 cmol kg⁻¹, 有效磷 17 mg kg⁻¹。

1.2 供试磷肥

过磷酸钙(SSP)由浙江省兰溪磷肥厂生产,磷矿

粉有中国昆阳磷矿粉(KPR)和突尼斯 Gafsa 磷矿粉(GPR),3种磷肥的化学性质列于表1。昆阳磷矿粉的粒径为100目(150 μm), Gafsa 磷矿粉的粒径为60目。

表1 三种供试磷肥的化学性质

Table 1 Chemical properties of the three different types of P fertilizers used in the study

磷肥 P fertilizer	总磷	2% 枸橼性磷	CaO	F	MgO	SiO ₂	CO ₃
	Total P	2% citric acid P	(g kg ⁻¹)				
过磷酸钙 SSP	67.8	60.6 ¹⁾	291.3	16.4	—	30.2	—
昆阳磷矿粉 KPR	137.3	28.7	456.8	32.5	159.4	252.3	18.8
Gafsa 磷矿粉 GPR	129.3	58.2	485.6	29.5	7.7	32.5	68.4

1) 水溶性磷 Water soluble P

1.3 试验设计

试验设6个处理,处理和磷肥施用量及轮作制列于表2。采用随机完全区组设计,重复3次,试验小区面积为4.82 m × 4.15 m。

表2 试验处理及磷肥在轮作制中的分配

Table 2 Designing of treatments in the experiment

处理代号 Treatment code	磷肥用量(P kg hm ⁻²)		
	油菜 Rapeseed	水稻 Rice	水稻 Rice
CK	0	0	0
GPR	120	0	0
KPR	120	0	0
SSP	40	40	40
75%GPR+25%SSP	40	40	40
75%KPR+25%SSP	40	40	40
DGPR ¹⁾	240	0	0

1) 处理 DGPR 的磷用量是处理 GPR 的 1 倍 The P rate of DGPR is double the rate of GPR

1.4 田间管理

油菜-水稻-水稻轮作试验自1999年开始进行了3a。油菜(双72)在每年11月的第1周移栽,栽植密度6.8株m⁻²。氮肥(尿素)在移栽时、移栽后10d和抽苔期分别施用N45、50和50kg hm⁻²。所有磷肥、KCl(K₂O 60 kg hm⁻²)和硼砂15 kg hm⁻²全部在移栽时条施。每年5月的第2周收获。

早稻(嘉优948)和晚稻(协优993)分别在5月

的第2周和7月的第3周移栽,栽植密度15 cm × 20 cm,而收获分别在7月的第3周和10月的第3周进行。氮肥(尿素)在移栽时撒施N100 kg hm⁻²,移栽后2周追肥N70 kg hm⁻²。所有磷肥和KCl(K₂O 75 kg hm⁻²)在移栽时撒施。

油菜和水稻分小区单收单打,晒干后称重,即为小区产量。

1.5 取样与分析

试验前采集0~15 cm原始土样,以后每季作物收获后采集每小区0~15 cm土壤、稻谷和秸秆样品。土壤pH(土:水为1:5)用玻璃电极法;交换性铝用1 mol L⁻¹ KCl淋洗提取,中和滴定法;土壤有效磷用Bray-1法。植物样品用H₂SO₄-硒粉-CuSO₄消化植株样品,用钒钼酸铵比色法测定植株磷。

2 结果与讨论

2.1 产量

2.1.1 油菜产量 施用磷肥分别使第1年、第2年和第3年油菜籽粒产量增加2.1~2.7、3.1~3.9和11.8~18.0倍。由于对照处理在整个试验期间均未施磷肥,因此施磷的增产效应随时间的推移而增大(表3)。3种不同磷肥的增产效应顺序为:Gafsa磷矿粉>昆阳磷矿粉>过磷酸钙。Gafsa磷矿粉的增产效应显著高于昆阳磷矿粉的原因是前者中的磷有较高的活性。在磷矿粉中加入25%的过磷酸钙,并且分施于各季时,其籽粒产量并没有比单施磷矿粉且集中施于油菜时有所提高。

表 3 施用磷矿粉对油菜和水稻产量的影响
Table 3 Effects of different PRs on grain yields of rapeseed and rice

处理代号 Treatment code	1999 年			2000 年			2001 年		
	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice
	(kg hm ⁻²)								
CK	415 e ¹⁾	5 675 a	6 850 b	500 c	4 485 b	6 235 b	120 f	4 500 d	6 685 c
GPR	1 540 ab	5 500 ab	6 950 ab	2 450 a	4 985 a	6 615 a	2 285 a	5 085 ab	7 335 a
KPR	1 335 c	5 650 a	7 000 ab	2 100 b	4 765 a	6 400 ab	1 725 d	5 150 a	6 965 b
SSP	1 390 bc	5 450 ab	7 200 a	2 400 a	4 755 a	6 365 b	1 980 c	4 765 cd	7 415 a
GPR+ SSP	1 345 c	5 475 ab	7 000 ab	2 350 a	4 800 a	6 535 ab	2 075 bc	4 965 abc	7 435 a
KPR+ SSP	1 302 c	5 450 ab	7 150 a	2 050 b	4 850 a	6 285 b	1 540 e	4 950 abc	7 150 ab
DGPR	1 480 bc	5 550 ab	7 000 ab	2 400 a	4 835 a	6 500 ab	2 275 ab	5 035 ab	7 350 ab

1) 同一列平均数后注有不同英文字母者为达到新复极差测验 5% 显著水平 Means with the same letter in the column are not significantly different at the 0.05 level using Duncan's Multiple Range Test

2.1.2 水稻产量 第 1 年施用磷肥并未使早稻增产,甚至还略低于对照,其原因是对照处理前作油菜产量很低,因而为后作早稻留下了较多未被油菜吸收的 N、P、K 肥。第 2 年施用磷肥提高早稻产量 6.0%~11.1%,但未达到 5% 显著水平;第 3 年施用磷肥提高早稻产量 5.9%~13.0%,除了施过磷酸钙处理外,所有施磷处理的产量与对照相比均达 5% 显著水平。

施用磷肥分别提高第 1 年、第 2 年和第 3 年晚稻产量 1.5%~5.1%、0.8%~6.1% 和 4.2%~11.2%。与对照相比,第 1 年晚稻产量,只有过磷酸钙和昆阳磷矿粉+过磷酸钙两个处理达到 5% 显著

水平,第 2 年晚稻产量,只有 Gafsa 磷矿粉处理达到 5% 显著水平,但第 3 年晚稻产量,所有施磷肥处理均达到 5% 显著水平。

2.2 农学有效性

连续施用 Gafsa 磷矿粉、过磷酸钙和昆阳磷矿粉且一次性施入分别使 3a 油菜平均产量分别提高 5.06、4.47 和 3.99 倍,而早稻和晚稻的 3a 平均产量分别提高 6.2%、2.0%、6.2% 和 5.7%、6.1%、3.0% (表 4)。磷矿粉对油菜的显著增产作用,主要原因是油菜对磷矿粉中磷有很强的利用能力^[12]。最近,国内外的研究证明,在石灰性土壤上施用磷矿粉也有很好的肥效^[2, 14]。

表 4 施用不同磷肥对油菜和水稻 3a(1989 年至 2001 年)平均产量的影响以及磷矿粉与过磷酸钙农学有效性的比较

Table 4 Effects of different PFs on 3-year average yields of rapeseed and rice and comparison between PR and SSP in agronomic effectiveness

处理代号 Treatment code	籽粒产量			秸秆产量			相对农学有效性 ¹⁾		
	Grain yield (kg hm ⁻²)			Straw yield (kg hm ⁻²)			RAE (%)		
	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	油菜 Rapeseed	早稻 Early rice	晚稻 Late rice
CK	345	4 887	6 590	603	5 816	5 857	—	—	—
GPR	2 091	5 190	6 967	4 443	6 050	6 188	108.7	104.2	99.6
KPR	1 720	5 188	6 788	3 586	5 978	6 073	89.4	104.1	97.1
SSP	1 923	4 983	6 993	4 128	5 995	6 228	—	—	—
GPR+ SSP	1 923	5 080	6 990	4 147	5 990	6 200	100.0	102.0	100.0
KPR+ SSP	1 631	5 083	6 862	3 307	5 961	6 122	84.8	102.0	98.1
DGPR	2 051	5 140	6 950	4 433	6 017	6 167	106.7	103.2	99.4

1) 相对农学有效性 (%) = (磷矿粉处理产量/过磷酸钙处理产量) × 100 Relative agronomic effectiveness (RAE) (%) = (yield of PR/yield of SSP) × 100

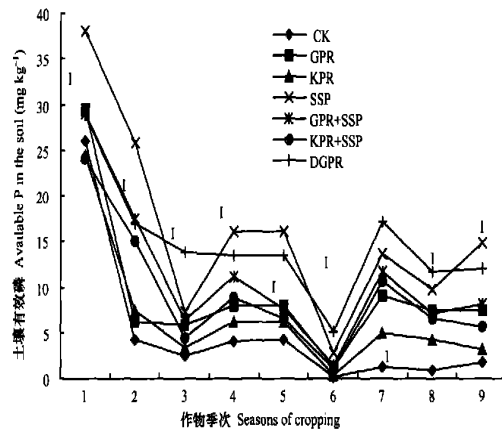
将磷矿粉分施于各季,即使加入 25% 的过磷酸钙,反而使油菜和水稻的产量略有降低,其原因可能是将磷矿粉集中施于油菜有利于土壤积累态磷的利用。鲁如坤等的研究证明,即使在固磷能力很强的红壤

上,积累态磷也大部分存在于可被作物利用的磷的形态中^[15]。磷矿粉对油菜和水稻秸秆产量影响的趋势与籽粒产量相似。Gafsa 磷矿粉和昆阳磷矿粉对油菜、早稻、晚稻的相对农学有效性分别为 108.7%、

104.2%、99.6% 和 89.4%、104.1%、97.1%，这说明 Gafsa 磷矿粉对油菜和早稻的增产效应高于过磷酸钙，而对晚稻的增产效应与过磷酸钙持平；昆阳磷矿粉对早稻的增产效应高于过磷酸钙，而对油菜和晚稻的增产效应低于过磷酸钙。将磷矿粉的用量增加 1 倍并未提高油菜和水稻的产量(表 4)。

2.3 耕层土壤(0~15 cm)有效磷的变化

耕层土壤有效磷随耕作的变化如图 1 所示。在第



1. 油菜 Rapeseed; 2. 早稻 Early rice; 3. 晚稻 Late rice; 4. 油菜 Rapeseed; 5. 早稻 Early rice; 6. 晚稻 Late rice; 7. 油菜 Rapeseed; 8. 早稻 Early rice; 9. 晚稻 Late rice

图中的 1 为 3 个重复的标准差 Vertical bars indicate are the standard deviations of means of three replications

1. 油菜 Rapeseed; 2. 早稻 Early rice; 3. 晚稻 Late rice; 4. 油菜 Rapeseed; 5. 早稻 Early rice; 6. 晚稻 Late rice; 7. 油菜 Rapeseed; 8. 早稻 Early rice; 9. 晚稻 Late rice

图中的 1 为 3 个重复的标准差 Vertical bars indicate are the standard deviations of means of three replications

图 1 耕层土壤(0~15 cm)有效磷随轮作季次的变化

Fig 1 Changes in available P in plough layer (0~15 cm) soil with cropping in the crop rotation

Gafsa 磷矿粉处理的土壤有效磷含量高于昆阳磷矿粉处理,第 3 轮作周期这种现象更为明显,这是因为前者的磷活性较高所致。

尽管土壤淹水后会提高土壤有效磷含量,但

1 轮作周期(1999 年),所有处理的耕层土壤有效磷均随时间的推移而急剧降低,在第 2 和第 3 轮作周期,耕层土壤有效磷的变化呈现与第 1 轮作周期相似的趋势,但土壤有效磷均随时间的推移而降低的速率趋缓。

在整个试验期间,过磷酸钙和加倍量 Gafsa 磷矿粉处理的土壤有效磷含量较高,但其油菜和水稻的产量并未超过 Gafsa 磷矿粉处理。这表明磷矿粉中的磷最终是可被作物(特别是油菜)利用的。

在 3 个轮作周期中,油菜收获后土壤有效磷含量均高于水稻收获后土壤有效磷含量,这是因为被早稻和晚稻所吸收的土壤磷比油菜要大得多所致(表 5)。

表 5 施用磷肥对作物磷吸收的影响

Table 5 Effects of PFs on P uptake by crops

处理代号 Treatment code	油菜 Rapeseed (P kg hm ⁻²)				早稻 Early rice (P kg hm ⁻²)				晚稻 Late rice (P kg hm ⁻²)			
	1999年	2000年	2001年	平均 Mean	1999年	2000年	2001年	平均 Mean	1999年	2000年	2001年	平均 Mean
CK	0.5	1.2	0.4	0.7	6.4	11.3	8.6	8.8	22.7	24.3	22.4	23.1
GPR	4.3	8.7	9.1	7.4	13.2	19	17.4	16.5	22.1	29.1	22.2	24.5
KPR	3.0	6.6	6.2	5.3	12.4	18.3	17.3	16	23.1	21.5	24.8	23.1
SSP	3.8	7.0	1.2	4.0	12.5	22	15.8	16.8	24.4	21.1	22.3	22.6
3GPR	3.9	8.9	8.5	7.1	12.3	22.1	16.3	16.9	23.4	19.9	22.1	21.8
3KPR	4.5	6.4	6.0	5.8	12.1	15.5	15.7	14.4	23.2	17.6	25.7	22.2
DGPR	4.9	9.1	8.2	7.4	13.3	18.7	16.8	16.3	25.1	28.7	22.9	25.7

2.4 植株磷吸收

表5列出了年施磷 120 kg hm^{-2} 时各处理作物吸收的磷。施磷后油菜吸收磷量的增加幅度要比水稻大得多,其原因是油菜对磷肥有较好的响应。油菜对不同磷肥的磷吸收量, Gafsa 磷矿粉处理的显著高于昆阳磷矿粉处理,这是由于 Gafsa 磷矿粉的磷活性较高,而 Gafsa 磷矿粉处理的显著高于过磷酸钙处理的则归因于前者一次性将全年的磷用量均施于油菜。水稻的磷吸收量也是 Gafsa 磷矿粉处理高于昆阳磷矿粉处理或过磷酸钙处理,但其差异未达

5% 显著水平,说明水稻吸收的磷主要由土壤提供的。

2.5 土壤有效磷与作物产量的关系

1999 年至 2001 年每季作物收获后的土壤有效磷与作物相对产量(各个处理的产量 $\times 100 /$ 该季中最高产量处理的产量)之间相关研究表明显示,土壤有效磷与油菜相对产量之间呈显著的正相关(图2),其相关系数为 0.8301^{**} ($n=21$),但其与水稻相对产量之间则无显著的相关性,与早稻和晚稻的相关系数分别为 0.3390 和 0.1109 。

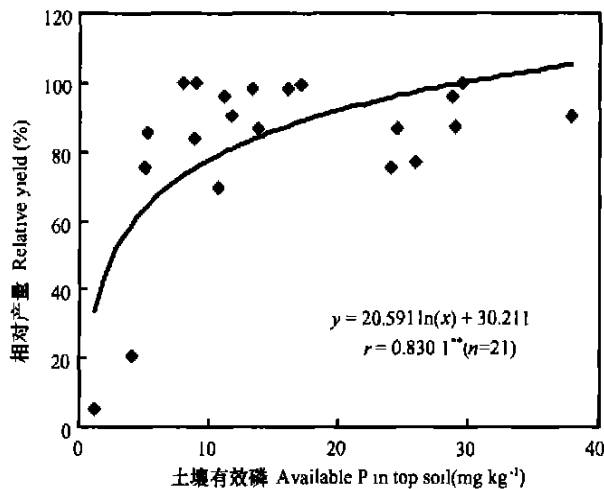


图2 土壤有效磷含量与油菜相对产量的之间关系

Fig 2 Relationship between soil available P and relative grain yield of rapeseed

Nambir^[16]发现,土壤可提取的磷与作物对磷肥的反应之间无令人满意的关系。Shmhmdneh 和 Hossner^[17]认为,在氧化条件下建立起来的土壤磷测试方法没有考虑到土壤磷在水稻土淹水后所发生的变化,同时还认为,在氧化条件下建立起来的土壤磷测试方法只有在土壤可提取的磷很低的情况下,土壤才会对施用的磷肥有反应。

3 结 论

本研究的结果显示,在油菜-水稻-水稻轮作制中,磷矿粉相对于过磷酸钙的农学有效性取决于所施磷矿粉中磷活性的高低和作物对缺磷的敏感性。虽然 Gafsa 磷矿粉的农学有效性高于昆阳磷矿粉,但由于后者为本国所生产,价格低廉,且其增产效果与过磷酸钙相近,因此可在我国南方地区推广应用。

本研究的结果还显示,将全年的磷矿粉用量集中施于油菜比将磷矿粉分施于各季更有利于作物的增产,这正是利用了油菜有很强的利用磷矿粉中磷

的能力、作物对磷矿粉磷的吸收需要时间及土壤淹水会使土壤有效磷含量提高的特点。在本研究的条件下,每年施用磷矿粉磷 120 kg hm^{-1} 足以使作物达到高产。需要进一步研究其他轮作制和其它磷矿粉的农学有效性。

参 考 文 献

- [1] Sale P W G, Mokwye A U. Use of phosphate rock in the tropics. Fertilizer Research, 1993, 35(1/2): 33~45
- [2] Singaram P, Rajan S S S, Kothandaraman G V. Phosphate rock and a phosphate rock / super-phosphate mixture as fertilizers for crops grown on a calcareous soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26(9/10): 1571~1593
- [3] 林葆, 林维雄, 李家康. 关于施用磷肥的几个问题. 土壤, 1992, 24(1): 57~60. Lin B, Lin W X, Li J K. Some problems on application of phosphorus fertilizer (In Chinese). Soils, 1992, 24(1): 57~60
- [4] 鲁如坤, 时正元. 我国南方6省农田养分平衡现状评价和动态变化研究. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63~67. Lu R K, Shi Z Y. Evaluation of present status of nutrient balance on agricultural fields in six provinces of south China and study of their kinetic

- changes (In Chinese). *China Agricultural Sciences*, 2000, 33 (2): 63~ 67
- [5] Rajan S S S, Watkinson J H, Sindhmir A G. Phosphate rock for direct application to soils. *Adv. Agron.*, 1996, 17: 77~ 159
- [6] 吴崇书, 孟赐福, 吕晓男, 等. 红壤施用不同磷源对油菜产量和经济效益的影响. *耕作与栽培*, 2002, (3): 42~ 43. Wu C S, Meng C F, Lu X N, *et al.* Influences of various phosphorus resources on the yield and economic effect of rapeseed (In Chinese). *Farming and Cultivation*, 2002, (3): 42~ 43
- [7] 滕淳茜, 孟赐福, 吴崇书, 等. 红壤稻田施用磷矿粉和硫肥对油菜和水稻产量的影响. *耕作与栽培*, 2004, (2): 34~ 35. Teng C Q, Meng C F, Wu C S, *et al.* Influences of application of phosphate rocks on the yields of rapeseed and rice on paddy soils derived from red soils (In Chinese). *Farming and Cultivation*, 2004, (2): 34~ 35
- [8] 胡红青, 李学垣, 刘凡. 酸性土壤施用磷矿粉对油菜的增产效果. *湖北农业科学*, 1993, (11): 79~ 81. Hu H Q, Li X Y, Liu F. Effects of application of phosphate rocks on increasing yields of rapeseed on red soils. *Hubei Agricultural Sciences (In Chinese)*, 1993, (11): 79~ 81
- [9] 臧小平, 张承林, 孙光明, 等. 酸性硫酸盐土壤上施用磷矿粉对水稻养分有效性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9 (2): 203~ 207. Zang X P, Zhang C L, Sun G M, *et al.* Application phosphate rock on nutrient availability of rice on a acid sulphate soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9 (2): 203~ 207
- [10] Ponnampetuna F N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 1972, 24: 29~ 96
- [11] Willit I R. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and subsequent maize growth. *Plant Soil*, 1979, 52: 373~ 383
- [12] 李庆远. 磷矿粉肥效问题的理论基础. *科学通报*, 1966, (2): 49~ 57. Li Q K. Theory basis on the problems of fertilizer efficiency of phosphite rocks (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 1966, (2): 49~ 57
- [13] Essaka R N, Dennis E A, Buri M M. Management of phosphate rock in maize-cowpea cropping system. *Soil Sci. Plant Nutri.*, 2003, 49(4): 481~ 484
- [14] 孙庚寅. 石灰性土壤磷矿粉直接施用的效果. *土壤通报*, 2001, 32 (3): 118~ 119, 125. Sun G Y. Effects of direct application of phosphate rocks on crop yield on calcareous soil (In Chinese). *Chinese J. of Soil Sci.*, 2001, 32 (3): 118~ 119, 125
- [15] 鲁如坤, 时正元. 土壤积累态磷研究 III 几种典型土壤中积累态磷的形态特征及其有效性. *土壤*, 1997, 29(2): 57~ 60. Lu R K, Shi Z Y. Study on accumulated phosphorus in the soils III Status characteristics of accumulated phosphorus in some typical soils and their availability (In Chinese). *Soils*, 1997, 29(2): 57~ 60
- [16] Nambir E K S, Turner F T, Yogeswara, *et al.* Need for reevaluation of soil testing methods and phosphorus requirement of rice soils in West Godavari district. *Indian J. Agric. Sci.* 1973, 43: 113~ 118
- [17] Shahandeh H, Hossner L R. Evaluation of soil phosphorus tests for flooded rice soils under oxidized and reduced soil conditions. *Commun. Soil Sci. Ana.*, 1995, 26 (1/2): 107~ 121

APPLICATION OF PHOSPHATE ROCK IN RAPESEED-RICE-RICE CROPPING SYSTEM ON AN ACID PADDY SOIL IN CENTRAL ZHEJIANG

Meng Cifu^{1,2} Cao Zhihong^{1†} Jiang Peikun¹ Xu Qiufang¹

(1 School of Life Science, Zhejiang Forest College, Lanús Zhejiang 311300, China)

(2 Institute of Environment, Resources, Soil and Fertilizers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract A 3-year field experiment was carried out to determine effective methods of applying phosphate rock (PR) at a rate of P 120 kg hm⁻² a⁻¹ on an acid paddy soil derived from quaternary red clay in a rapeseed-rice-rice cropping system. The yield response of rapeseed to application of phosphorus fertilizer (PF) was much greater than that of rice. SSP was applied separately to rapeseed, early rice, and late rice, while PR was applied only to rapeseed. Kunyang phosphate rock (KPR) was found to be significantly less effective than Gafsa phosphate rock (GPR) on rapeseed, but quite similar on rice. Relative agronomic effectiveness of GPR and KPR in rapeseed, early rice, and later rice seasons were 108.7%, 105.0%, 99.6% and 89.4%, 104.8%, 97.1%, respectively. Increasing the application rate of GPR from P 120 kg hm⁻² a⁻¹ to P 240 kg hm⁻² a⁻¹ or mixing RP with SSP and applying the mixture to separately to three crops did not have any extra effect on yields of rapeseed or rice. Available P in the cultivated layer of soil after the rapeseed season was greater than that after the rice seasons. Phosphorus absorbed by rapeseed was mainly from the PF, whereas P absorbed by rice was mainly from soil.

Key words Agricultural effectiveness; Phosphate rock; Paddy soil; Rice; Rapeseed; Yield; Cropping system