

文章编号: 100F 1498(2004) 02 0199 07

沙田柚树施用活化磷肥的效果及机理研究

李淑仪¹, 廖新荣¹, 张凤明², 蓝佩玲¹, 徐胜光¹

(1. 广东省生态环境与土壤研究所、广东省农业环境综合治理重点实验室, 广东 广州 510650;

2. 广东省梅县沙田柚研究所, 广东 梅州 514700)

摘要: 通过田间试验与室内模拟试验相结合, 用相应活化剂处理水溶性 P 并配成沙田柚专用肥, 进一步对其在广东梅县沙田柚产区施用的效果及机理进行研究。结果显示: (1) 在沙田柚产区施用含活化 P 肥的专用肥, 能有效改善柚树各生育期的 P 营养, 从而能显著提高柚果产量和品质。(2) 在梅县砂页岩赤红壤条件下, 土壤中的 Fe、Mn 与 P 素有效性关系密切; Si 可促进土壤中 P 的释放, 适量的 Ca 可增加 P 的活性。(3) 供试活化剂可控释水溶性 P 的释放, 使土壤供 P 性能平稳。(4) 在砂页岩赤红壤植物体系中, 活化剂对 P 的控释机理与不同地带性和不同母质的玄武岩砖红壤一样, 是通过对土壤 Fe、Mn、Al 含量的调节而实现对 P 的活化。

关键词: 梅县砂页岩赤红壤; 沙田柚; 磷; 活化剂; 活化机理

中图分类号: S714.8 **文献标识码:** A

沙田柚(*Citrus grandis* Osbeck cv. Shatianyou) 为我国著名果品, 深受广大消费者喜爱。梅州沙田柚的种植面积虽只占全国沙田柚种植面积的 1/9, 但其产量却占 1/3, 因此, 为使沙田柚高产优质, 提高种植沙田柚的经济效益, 实现沙田柚种植的可持续发展, 进行科学种植和施肥非常必要。土壤中的全 P 量虽较高, 但对作物有效的 P 含量往往很低, 梅县沙田柚园多是砂页岩发育的赤红壤坡地, 土壤有效 P 平均含量只有 $44.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而沙田柚是周年中挂果时间很长的果树^[1], 特别要求 P 素供应平稳, 在花芽分化时期对 P 供应的要求更高^[1], 因此施用活化 P 肥及含活化 P 的专用肥对沙田柚高产优质意义重大。同时, 环境和资源问题是当代人类社会面临的重大问题之一, 因此, 有效利用有限资源, 提高肥料利用率, 减少因施肥造成的环境污染, 保护生态环境已成为各国共同关注的热点问题^[2]。P 素是作物生长的重要物质基础, P 矿又是不可再生的矿产资源。P 肥研究的中心问题, 仍然是从各个方面来探索 P 肥的有效利用途径, 以充分提高其利用率^[3]。大量研究表明, 我国化肥中 P 的当季利用率仅为 10%~20%, 由于施肥不当不仅造成浪费, 还引起环境污染^[4,5]。如能提高部分 P 肥的利用率, 将会带来巨大的社会效益, 因此, 如何有效地提高 P 肥利用率, 对我国农林业生产、经济和社会发展、保护生态环境均具有极其重大的意义。本文研究了沙田柚树施用含活化 P 的专用肥效果及机理, 为提高 P 肥在红壤上的利用率提供依据。

收稿日期: 2003 05 15

基金项目: 广东省科技创新百项工程(2KB05602N) 和广东省自然科学基金(990741) 资助项目

作者简介: 李淑仪(1957—), 女, 广东佛山人, 研究员。

1 材料与方方法

1.1 地点与土壤

田间试验于2001年和2002年在广东省梅州市南口镇龙塘村、雁洋镇南福村、石扇镇中和村、城东镇竹洋村、程江镇槐岗村、白官镇新联村和丙村镇人和村等果园进行,供试土壤主要为砂页岩和河流冲积物发育的赤红壤,用双酸1次性浸提出的元素含量见表1。发育于砂页岩的赤红壤的平均pH为4.88,土壤的有机质、全N、全P分别为2.21、0.89、0.60 g·kg⁻¹,有效N、P、K和交换性Ca、Mg分别为60.86、3.43、68.50、393.00、70.50 mg·kg⁻¹;河流冲积物赤红壤的平均pH值为6.49,土壤的有机质、全N、全P分别为1.11、0.59、0.26 g·kg⁻¹,有效N、P、K和交换性Ca、Mg分别为55.32、3.34、56.50、497.00、60.90 mg·kg⁻¹。

表1 供试土壤用双酸1次性浸测出的元素含量

元素	P	Ca	Si	Fe	Al	Mn
含量/(mg·kg ⁻¹)	20.0	3 235.0	73.54	30.89	498.63	53.03

1.2 田间试验方法

以沙田柚结果树为试验对象,进行施用不同P肥处理的田间简单对比试验,试验设2个处理,每处理0.33 hm²。处理为含活化P的专用肥和等养分不含活化P的一般复混肥,在沙田柚生长的各个时期,分期施用,每个果园2个处理的施肥次数和施肥养分量一致。

1.3 田间试验材料

含活化P的沙田柚专用肥分壮果肥和壮稍肥,壮果肥和壮稍肥的P源均为水溶性P加有机活化剂,N、P、K总量为27%,P₂O₅的含量分别为7%和10%。全期施8~10次,总施用量为14~19 kg·株⁻¹,各果园的具体施肥量视树龄大小而定。对照为N、P、K肥或一般复混肥,各果园的品种略有差异,但每次施肥的养分量与前者一致。

1.4 叶片采集和分析

在各生育时期,统一在树冠外周的中部当年春梢顶叶下数第3~4节取叶片,每处理分为3个区作为3重复,每重复选10株树取叶片制成1个混合样,叶片取回后用自来水洗干净之后用蒸馏水冲洗,80℃杀青、60℃烘干,然后粉碎备用。叶片分析方法与文献[1]相同。

1.5 室内模拟试验

土壤培养条件下活化剂对P肥有效性的影响:用培养皿称50g土培养,试验处理:1是对照(CK₁),没有添加P肥和活化剂;8、9、10、11、12、13分别添加磷铵及活化剂0、8%有机1号、8%有机2号、14%有机2号、50%无机1号、50%无机2号。混匀加水(保持湿润),于4d、2周、6周、9周、40周、80周取样,测有效P含量,前4次的还测活性Fe、Al、Mn、Ca、Si含量。

1.6 肥料的释放速率模拟试验

培养方法与室内模拟试验相同。根据P肥的损失机制可知,主要是由于土壤对P的固定作用而使P肥失效,因此,该方法是培养一定时间后,测出的P越多则对肥料的抗固定作用越好。

1.7 统计方法

统计分析是用国际通用的SAS(统计分析系统)程序进行。

2 结果与讨论

2.1 沙田柚树施活化 P 专用肥的田间试验效果

表 2 和表 3 的结果表明,施了含活化 P 专用肥的柚果单果质量、果皮光滑度、果肉化渣程度、果汁、口感、树势、叶色等方面均优于普通施肥对照。

表 2 含活化 P 的专用肥对沙田柚树产量、农艺性状的影响

试验地点	产量指标				农艺性状及外观	
	平均商品果数/ (个·株 ⁻¹)		单果质量/ (g 个 ⁻¹)		专用肥	普通肥
	专用肥	普通肥	专用肥	普通肥		
南口	108 a	60 b	1 258 a	1 110 b	果皮光滑,色泽较好,树势较好,柚果大小较均匀	果皮较粗糙,色泽较差,果大小不均
雁洋	96.7 a	91.5 ab	1 240 a	1 030 b	果皮光滑,果较大,叶片较少出现黄斑	果皮较粗,出现黄斑的叶片较多
石扇	107.2 a	72.4 b	1 245 a	1 235 a	叶色较浓绿,较少黄斑叶	叶色泽较差,较多黄斑叶
城东	102.8 a	80.2 b	1 315 a	1 210 b	果皮较光滑,色泽较好,叶色较浓绿	果肉汁较少,果皮较粗糙,叶色稍差
程江	41.6 a	23.3 b	1 150 a	1 076 b	果皮较薄、叶色较浓绿	果皮较厚,叶片较薄
丙村	77 a	51.8 b	1 237 a	1 163 b	果皮较光滑,叶片较厚	果皮较粗糙,叶片出现缺素斑较多

注:处理间不同字母者表示经 SSR 差异显著($p=0.05$)

表 3 沙田柚树施用含活化 P 的专用肥对各试验点的柚果主要品质指标比较

地点	处理	口感	果皮厚度/ mm	可溶性 固形物/%	可溶性总糖/ (mg·kg ⁻¹)	维生素 C/ (mg·kg ⁻¹)	滴定酸/ (mg·kg ⁻¹)
城东	专用肥区	果肉汁较多	11.50	11.37	103.9	779.1	2.51
	普通肥区	果肉汁较少	15.83	1.03	93.0	672.6	2.19
丙村	专用肥区	肉质较化渣,口感较好	15.12	10.8	89.0	880.7	2.95
	普通肥区	肉质较硬,口感较差	19.88	9.7	78.5	762.1	2.24
石扇	专用肥区	肉质较脆、清甜	17.04	12.0	100.9	796.0	2.29
	普通肥区	肉质较硬、味较淡	18.52	9.0	82.9	643.6	2.75
程江	专用肥区	果肉化渣、清甜、口感较好	16.12	13.2	111.0	1 001.7	2.48
	普通肥区	果肉稍有苦味,果汁较少	17.24	11.8	85.2	732.7	2.20
雁洋	专用肥区	肉质较化渣,汁较多	14.60	11.3	95.6	825.1	2.55
	普通肥区	肉质带苦、汁较少	16.45	10.1	78.8	711.3	2.46
南口	专用肥区	肉质脆化渣	16.16	11.7	105.7	754.9	2.68
	普通肥区	肉较硬,带苦味	18.12	9.4	79.5	687.1	2.78

2.2 施活化 P 肥对沙田柚树体 P 素营养的动态变化效应

从表 4 看出,各试验点施含活化 P 专用肥的柚树在春梢、盛花期(3 月份)、幼果保果期(5 月份)、果实膨大期(7—8 月份)、汁胞充实期(9 月份)等各时期的叶片 P 含量均比对照的高,这说明了活化 P 的活化效果明显,能均衡供 P,有利于花芽分化、保果、壮果及果实的汁胞充实,

从而为沙田柚高产优质创造了物质基础。

表4 柚树各生长期营养叶 P 养分的动态变化情况

g kg^{-1}

地点	施肥处理	花芽分化期 (2001-12)	春梢、盛花期 (2002-03)	幼果保果期 (2002-05)	果实膨大期 (2002-07)	果实充实期 (2002-08)	汁胞充实期 (2002-09)
雁洋	活化 P 专用肥区	1.270	4.62	1.57	1.29	1.28	1.24
	对照区	1.060	3.78	1.16	1.04	1.05	1.14
南口	活化 P 专用肥区	1.130	4.79	1.40	1.21	1.16	1.31
	对照区	1.060	3.84	1.19	1.11	1.09	1.15
丙村	活化 P 专用肥区	0.791	1.02	1.64	1.25	1.56	1.14
	对照区	0.723	0.99	1.29	1.11	1.17	1.13

2.3 P 肥的释放速率模拟试验结果分析

2.3.1 活化剂对水溶性 P 肥——磷酸二氢铵中 P 的控释效果 图 1 的结果显示,室内模拟试验中,在砂页岩赤红壤中施入磷铵后,土壤中有效 P 的测出值约只有加入活化剂处理的 60%~70%;而几种活化剂均有对水溶性 P 的防固定性能和平稳供肥性能,但其中也有差异,其中有机 1 号(9 处理)和有机 2 号(10、11 处理)在不同时间段所测出的土壤有效 P 量较为一致,表明这两种活化剂对水溶性 P 的保护效果最好,使其供 P 性能相对最平稳;而无机活化剂(12、13 处理)的效果也较好,说明这 4 种活化剂对水溶性 P 的控释作用均良好。有机 2 号 2 种浓度中,在 6 周至 80 周的几次测定中,14% 的效果比 8% 的效果后劲更足;说明在本试验土壤的条件下,用于水溶性 P 的控释时,有机活化剂加入量应在 14% 左右。

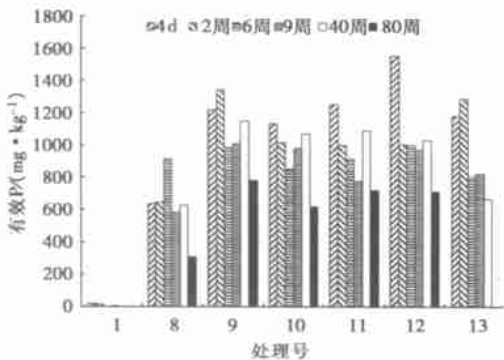


图1 活化剂对磷铵的作用效果

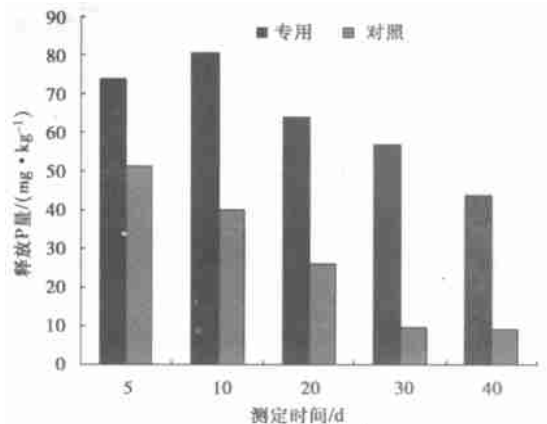


图2 沙田柚专用肥在各时段的有效 P 走势

用活化 P 配成的沙田柚专用肥,同样有对水溶性 P 的防固定性能和平稳供肥性能,从各时间段测得的土壤有效 P 所绘制的 P 释放走势图(图 2)可知,加了活化 P 的沙田柚专用肥在不同时间段所测出的有效 P 水平明显地比对照高,土壤有效 P 释放曲线比对照的较为平缓,表明所选用的活化剂对水溶性 P 的保护效果明显,使其供 P 性能相对平稳。说明施含活化 P 专用肥的沙田柚比施对照肥料的高产和优质的主要原因是 P 的控释作用良好,使柚树各时期对 P 的需求得到有效保证。

2.3.2 坡地砂页岩赤红壤中施磷铵加活化剂对可能影响磷有效性的有关元素含量的影响

图 3 显示, 砂页岩赤红壤施磷铵加活化剂的大部分处理(9、10、11、12 处理) 土壤中活性 Fe、Al、Mn 含量比不加活化剂的对照(8 处理) 高, 说明施磷铵加活化剂使土壤有效 P 含量平稳, 也是与不同母质和不同土地带性的玄武岩砖红壤^[6,7] 一样, 是通过对土壤中活性 Fe、Al、Mn 含量的调节而实现对水溶性 P 控释作用的。

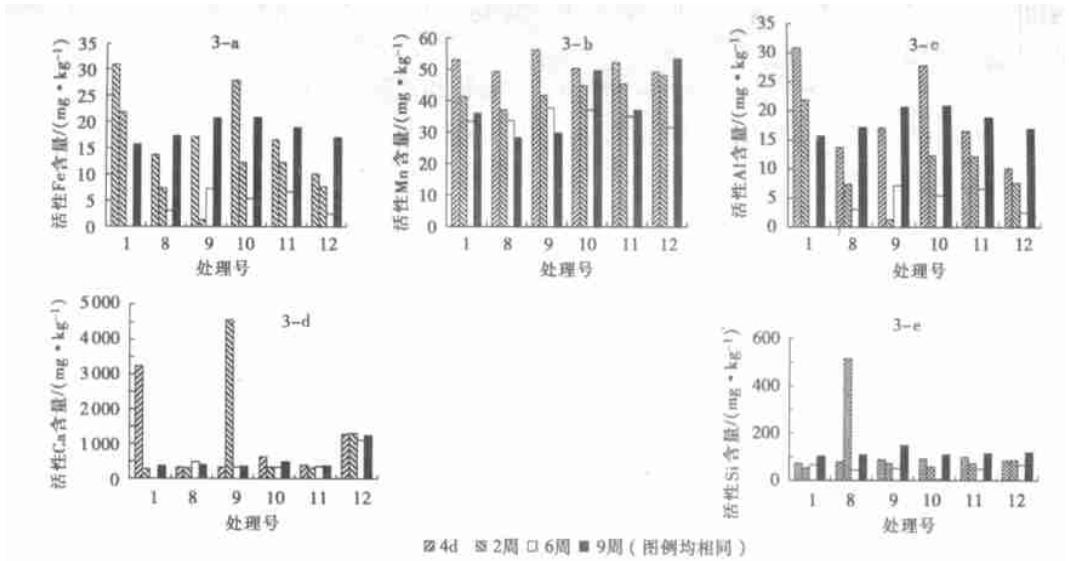


图 3 活化剂处理磷铵后土壤中与 P 有关的元素动态变化

表 5 活化剂培养磷肥后土壤有效 P 与有关元素及其比例的相关系数 (r)

元素	几种活化剂与磷铵在砂页岩赤红壤上培养的模拟试验					沙田柚专用肥与对照
	4 d	2 周	6 周	9 周干	9 周湿	5 周
Fe	- 0.637	- 0.840*	0.708*	0.756*	- 0.517	- 0.975**
Mn	- 0.0965	0.385	0.213	0.365	0.157	- 0.967**
Al	0.527	0.564	0.720*	0.985*	0.919**	0.852**
Ca	- 0.679*	0.601	0.589	0.339		0.973**
Si	0.718*	0.162	0.324	0.590		0.959**
Fe/Al	- 0.597	- 0.916**	- 0.661	- 0.952**	- 0.949**	
Fe/Mn	- 0.626	- 0.891**	- 0.419	0.080	- 0.306	
Al/Fe	0.662	0.654	0.595	0.966*	0.825**	
Al/Mn	0.562	0.464	0.501	0.622	0.591	
Mn/Fe	0.623	0.609	0.471	0.052	0.367	
Mn/Al	- 0.551	- 0.610	- 0.596	- 0.812**	- 0.814**	
Fe/Ca	0.264	- 0.850**	- 0.232	- 0.021		
Fe/Si	- 0.795*	- 0.739*	- 0.796**	0.123		
Al/Ca	0.316	- 0.223	0.0042	0.487		
Al/Si	0.337	0.309	0.823**	0.873**		
Mn/Ca	0.292	- 0.616	- 0.174	- 0.215		
Mn/Si	- 0.789*	- 0.076	- 0.783*	0.113		

表5的结果显示,砂页岩赤红壤施磷铵加活化剂的模拟试验栏中,与有效P有关的元素与土壤有效P的相关性较复杂,规律性较差;而与这些元素间比例的相关性相对较有规律性,其中呈现负相关显著最多的是与Fe有关的比值,如Fe/Al、Fe/Mn、Fe/Ca、Fe/Si,其次为与Mn有关的比值,如Mn/Al、Mn/Si、Mn/Ca;而呈现正相关的是与Al有关的比值,如Al/Fe、Al/Mn、Al/Ca、Al/Si;而在沙田柚专用肥与对照栏中,与有效P磷有关的Fe、Mn、Al、Ca、Si元素与土壤有效P的相关性则较有规律性,土壤有效P与活性Fe、Mn均呈极显著的负相关,而与活性Al、Ca、Si呈现极显著的正相关。

表5表明,在坡地砂页岩赤红壤条件下,P的有效性与此些元素或这些元素在体系中的比例和平衡度有很大关系,同时进一步说明,体系中活性Fe、Mn对P的固定作用贡献较大,按P形态其固P的顺序为 $Fe-P$ 、 $Mir P > Al P$ 和 $Ca P$ 。虽然土壤中Fe、Mn的含量比Al少得多(表1),但由于Al与P的结合沉淀属于离解度较高的一种,被双酸提取的P增加的同时,Al被测出的量也同时增加,因此P与Al的相关性及与Al相关元素比值的相关性在大多数时间段中呈现正相关。这与在P分级的研究中, $Al P$ 与作物生长的相关性最好,是土壤中对作物有效性较高的P,是供给作物P素的主要P源的结果相吻合^[8-10]。

有效P与活性Ca的关系在大多数时间段中呈现极显著正相关,这可能是由于在酸性土壤中Ca可削弱或消除 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Al^{3+} 过量存在的抑制作用^[11],因而在一定范围内对P的活化有促进作用^[7],还有资料表明,酸性土壤中施适量石灰(Ca)可促进小麦吸收P^[12]。这说明在砂页岩赤红壤条件下,适量的Ca也有利于提高P的活性。

活性Si含量与有效P含量之间呈现正相关,这与前人^[6,7,13]的研究结果“Si对P有效性有促进作用”相一致。

2.3.3 在砂页岩赤红壤上不同活化剂对磷铵控释P及有关元素的动态效应 从图1可看出,在土壤中活化剂培养磷铵的模拟试验中,土壤有效P含量在不同时间的测定结果表明,4d时所有活化剂处理的有效P均已开始起保护水溶性P的作用,有效P含量超过对照(磷铵)1倍以上;在2周至80周的所有时间段中,所有活化剂的有效P含量均超过了对照。

从图3中还可看出,在不同时间段中,与处理8相比,与有效P呈现相应变化的有Fe、Al、Mn,说明有效P的变化与这些元素有关;在所有时间段中,施进磷铵或活化剂处理磷铵所有处理测出的活性Fe、Al量均大大低于原土壤(处理1),即施P后活性Fe、Al均比土壤(CK₁)明显降低,而有效P则明显提高,说明土壤中的活性Fe、Al是与体系中大量的有效P结合,使其活度下降;而活性Mn量则在原土壤中较高,施P后仅稍有下降,加活化剂后又略有上升。说明Mn在体系中是较顽固的一种因素, $Mir P$ 是否前人^[8,9,14]在P分级的研究中定为闭蓄态P(O-P)的成分呢?这个问题有待进一步研究。

Ca、Si含量在各时间段和各种活化剂处理与原土壤相比变化不大,说明施P和活化剂与这些元素关系不大。

参考文献:

- [1] 李淑仪,廖新荣,廖观荣,等. 梅州沙田柚结果树的叶片营养特点研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(2): 113~117
- [2] 刘国栋. 植物营养学研究的最新进展——第十三届国际植物营养会议[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4): 429~432
- [3] 李庆逵. 现代磷肥研究的进展[J]. 土壤学进展, 1986(2): 1~7

- [4] 科学院院士, 工程院院士专家组. 我国化肥面临的突出问题及建议[Z]. 中国科学院文件, 科发学部字(1997)0228号, 1997
- [5] 何绪生, 李素霞, 李旭辉, 等. 控效肥料的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 97
- [6] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 玄武岩砖红壤活化效果及其机理研究[J]. 土壤与环境, 2001, 10(4): 311~ 318
- [7] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 雷州桉树人工林下土壤磷肥活化效果及其机理研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 261~ 268
- [8] 谢利昌, 余鹿庄, 黎秀彬, 等. 广东省主要水稻土有效磷钾测定方法的研究 I. 水稻土的磷素形态及有效磷的测定[J]. 华南农业大学学报, 1985, 6(2): 51~ 61
- [9] 卢瑛, 卢维盛, 刘远金, 等. 砖红壤磷的有效性及其与土壤化学元素关系的研究[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(3): 90~ 93
- [10] 甘海华, 卢瑛, 戴军. 不同肥力红壤及其复合体无机磷分布特征[J]. 华南农业大学学报, 1998, 19(3): 78~ 81
- [11] 何念祖, 孟赐福. 植物营养学原理[M]. 上海: 科学技术出版社, 1987. 311~ 317
- [12] 王家玉. 植物营养元素交互作用研究[J]. 土壤学进展, 1992(1): 1~ 10
- [13] 马同生. 土壤、植物中硅与磷的相互关系[A]. 见: 李生秀. 土壤植物营养研究论文集[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999. 90~ 93
- [14] Lu Qiming, Liao Zhongwen. Comparative study on characteristics of P fixation by Mn; Fe; Al[J]. Pedosphere, 1997, 7(4): 325~ 327

Study on Effects and Mechanisms of Applying an Activated Phosphatic Manure to *Citrus grandis* Osbeck

LI Shuyi¹, LIAO Xinrong¹, ZHANG Fengming², LAN Peiling¹, XU Shengguang¹

(1. Guangdong Institute of Eco environmental and Soil Sciences, Guangdong key laboratory of agricultural environment integrated control, Guangzhou 510650 China; 2 Meixian Institute of *Citrus grandis* Osbeck, Meizhou 514000, Guangdong, China)

Abstract: The activation agents were used to treat water-soluble phosphate and be compound to expert fertilizers of *Citrus grandis* Osbeck and their field biological effect and mechanism were studied on the produce terra of *Citrus grandis* Osbeck in Meizhou of Guangdong. The results are as follows: (1) The P nutrition of leaves at every growth period of the tree were improved, accordingly the yield and the quality of *Citrus grandis* were increased markedly when the special fertilizers contained activated phosphate were used to the produce terra of *Citrus grandis* in Meizhou. (2) The Fe and Mn elements in the lateritic red earth derived from arenaceous shale are closely correlated to the efficiency of P elements. Si can benefit the release of P in soil, and proper Ca also increase the activity of P element. (3) The activation agents can control the release of water-soluble P so as to stabilize the P supply from soil. (4) The lateritic red earth derived from arenaceous shale is the same basalt-lar tolol soil of other zonality and other mother material as the control mechanisms of activation agents to P is to adjust the contents of Fe, Al and Mn in soil so as to realize the activation of P in soil-plant system.

Key words: lateritic red earth derived from arenaceous shale; *Citrus grandis*; phosphorus; activation agents; activating mechanisms