

# 白云石粉对皖南酸性红黄壤磷组分及磷有效性的影响

王文军, 郭熙盛, 武际, 朱宏斌

(安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031)

**摘要:** 在施用 P 肥的基础上配合使用白云石粉, 用酸性土壤无机 P 分级方法测定皖南红黄壤各形态 P 的含量。结果表明: 使用 P 肥能明显提高土壤全 P、无机 P 和土壤速效 P 含量; 土壤速效 P 与无机 P 各组分的相关性以 Al-P 最好, Fe-P、O-P 次之, Ca-P 最差。施用白云石粉, 当季土壤 Ca-P 含量及其在无机 P 中所占的比例明显提高, Al-P 的形成受到抑制, 但随着时间的推移, 却更有利于有效性较高的 Al-P 含量的增加。

**关键词:** 白云石; 酸性红黄壤; 无机磷组分; 相关性

**中图分类号:** S155.2<sup>+</sup>4; S155.2<sup>+</sup>5

目前我国缺 P 土壤面积很大, 除土壤自身 P 含量和有效性较低外, 另一重要原因是施入土壤中的 P, 由于土壤的吸附和固定, P 肥的利用率很低, 当季作物的利用率仅为 10%~25%<sup>[1]</sup>, 施入土壤中的 P 大部分以无效态储备起来。皖南红黄壤在成土过程中, 受气候条件的影响, 土体发生强烈的风化淋溶和富铝化作用<sup>[2]</sup>, Ca、Mg 大量流失, Fe、Al 富集, 更易导致有效性较高的 Ca<sub>2</sub>-P 向有效性低的 O-P、Fe-P、Al-P 转化, 因而在皖南红黄壤上缺 P 显得尤为严重, P 素不足已成为皖南红黄壤地区植物生长的一个重要障碍因子。施用不同石灰质矿物能够减少土壤中交换性 Al 的含量, 降低土壤的酸度, 改善作物的生长发育状况<sup>[3-4]</sup>, 但施用白云石粉对酸性土壤无机 P 形态组成的影响如何, 国内未见报道。本文重点探讨施用白云石粉对皖南酸性红黄壤 P 组分及 P 有效性的影响, 为改良皖南红黄壤, 提高土壤 P 的有效性和肥料 P 的利用率提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤

试验设在安徽省广德县, 土壤为第四纪红壤发育而成的酸性红黄壤, 其主要理化性状: pH 值 4.1, 有机质 9.8 g/kg, 速效 N 41.3 μg/ml, 速效 P 10.7 μg/ml, 速效 K 43.0 μg/ml, 速效 Ca 441.0 μg/ml, 速效 Mg 75.3 μg/ml, 速效 S 10.1 μg/ml, 速效 B 0.25 μg/ml, 速效 Cu 1.0 μg/ml, 速效 Fe 93.6 μg/ml, 速效

Mn 28.1 μg/ml, 速效 Zn 1.4 μg/ml。测试结果由 PPI/PPIC 北京办事处提供, ASI 法测定<sup>[5]</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设 5 个不同白云石粉用量处理: 0 (CK)、600、1100、1600、2500 kg/hm<sup>2</sup>, 白云石粉过 60 目筛, 于 1998 年一次性在第一季小麦播种前基施, 以后不再施用。供试肥料品种为尿素、磷酸二铵、氯化钾。每季作物的 N、K 肥料用量不同, 但施 P 量都为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>, 全部 P、K 肥以及 50% 的 N 肥作基肥施用, 余下的 50% N 肥作追肥。小区面积 27 m<sup>2</sup>, 4 次重复, 完全随机区组设计。

本试验共种植了 6 季作物, 依次为小麦、红豆、油菜、玉米、油菜、黄豆, 分别于小麦、油菜、玉米、油菜收获后取土分析, P 分级采用张守敬、Jackson 提出的无机 P 分级方法<sup>[6]</sup>, 速效 P 采用 Olsen 法测定。有机 P 含量以全 P 和无机 P 之差计。

## 2 结果与分析

### 2.1 白云石粉对红黄壤旱地土壤全 P、无机 P、有机 P 和速效 P 含量的影响

供试土壤全 P 含量较低, 施用 P 肥以后, 土壤全 P 含量呈逐年提高趋势 (图 1), 各处理全 P 的增量以不施白云石粉的处理最大。2002 年不施白云石粉 (CK) 土壤全 P 含量为 506 mg/kg, 较各白云石粉处理全 P 含量分别高出 49、70、76 和 17 mg/kg, 可能与施用白云石粉提高土壤养分有效性和作物产

①基金项目: 北美钾磷研究所/加拿大钾磷研究所 (PPI/PPIC) 资助项目。

作者简介: 王文军 (1967-), 女, 安徽歙县人, 副研究员, 主要从事植株营养与土壤肥料研究。

量，作物从土壤中带走 P 的数量增多有关。

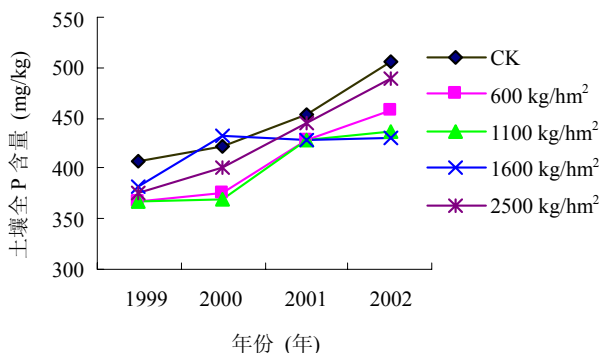


图 1 不同用量白云石粉处理土壤全 P 含量的年度变化

Fig. 1 Annual changes in total P under different treatments

土壤全 P 含量的提高也增加了无机 P 含量，各处理间无机 P 含量变化趋势与全 P 基本一致(图 2)。2002 年 CK 土壤无机 P 含量 447.5 mg/kg，施用白云石粉处理无机 P 最高含量为 445.9 mg/kg，比 CK 要低。从各年土壤无机 P 含量占全 P 含量的百分比来看(图 3)，1999 年各处理无机 P 占全 P 百分比分

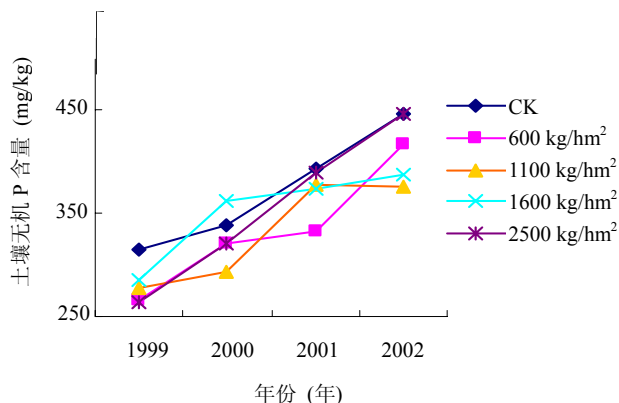


图 2 不同用量白云石粉处理土壤无机 P 含量的年度变化

Fig. 2 Annual changes in inorganic P under different treatments

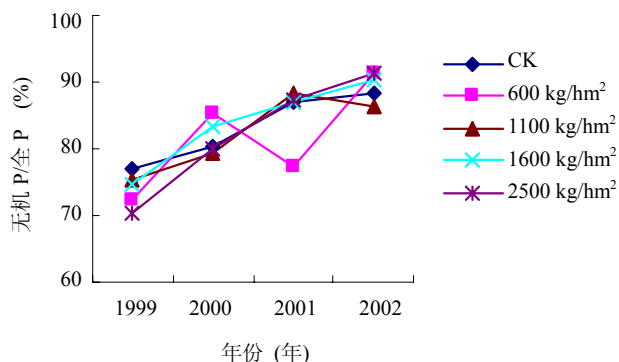


图 3 不同用量白云石粉处理土壤无机 P 占全 P 的百分数

Fig. 3 Percentage of inorganic P to total P

别为 77.1%、72.3%、75.5%、74.8%和 70.5%，2002 年分别为 88.4%、91.2%、86.3%、90.4%和 91.2%，相应增加了 11.3、18.9、10.8、15.6 和 20.7 个百分点。除白云石粉 1100 kg/hm<sup>2</sup> 处理外，其余各处理的增量均明显高于 CK，说明增施白云石粉可提高无机 P 在全 P 中所占的比例。

土壤有机 P 是土壤全 P 的一个重要组成部分，一般占全 P 的 10%~50%，有机 P 矿化可直接补充有效 P 源。皖南红黄壤有机 P 占全 P 的比例较高<sup>[6]</sup>，供 P 潜力较大。由图 4 可以看出，各处理红黄壤土壤有机 P 含量呈逐年下降趋势，其中降幅最大的为最高量白云石粉处理，下降 67.7 mg/kg。有机 P 占土壤全 P 的比例也呈逐年下降趋势(图 5)，1999 年各处理土壤有机 P 占全 P 的比例分别为 22.9%、27.7%、24.5%、25.2% 和 29.5%，2002 年则分别降至 11.6%、8.8%、13.7%、9.6% 和 8.8%，施白云石粉处理降幅大于 CK。表明单施化肥可加快土壤有机质矿化，降低土壤有机 P 含量，增施白云石粉，有机 P 矿化作用更为明显。

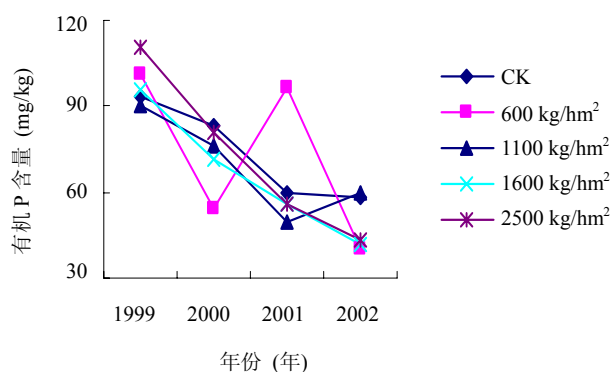


图 4 不同用量白云石粉处理土壤有机 P 含量的年度变化

Fig. 4 Annual changes in organic P under different treatments

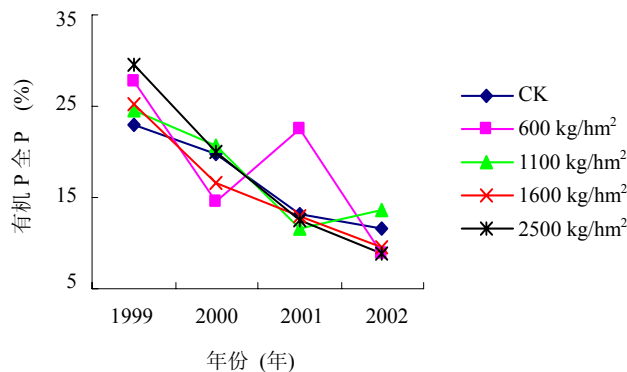


图 5 不同用量白云石粉处理土壤有机 P 占全 P 的百分数

Fig. 5 Percentage of organic P to total P

土壤速效 P 含量总体呈增高趋势, 但各年度变化不一(图 6)。1999 年 CK 土壤速效 P 含量为 21.59 mg/kg, 较各施白云石粉处理高 4.77~8.1 mg/kg。在其后几年中, 各处理土壤速效 P 含量表现为施用白

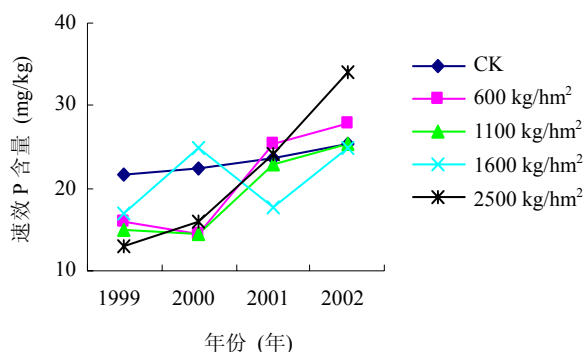


图 6 不同用量白云石粉处理土壤速效 P 含量的年度变化

Fig. 6 Annual changes in available P under different treatments

云石粉处理增量较大, 2002 年较 1999 年分别增加了 11.86、10.79、8.03 和 21.16 mg/kg, 同期 CK 仅增加了 3.75 mg/kg。各处理土壤速效 P 含量占全 P 总量的百分比, 1999 年以 CK 最高, 最高量白云石粉处理最低; 在随后的几年中 CK 略有下降, 而白云石粉处理则呈上升趋势; 2002 年各白云石粉处理土壤速效 P 含量占全 P 百分比均高于 CK。表明由

于碳酸盐矿物颗粒表面对 P 的吸附固定作用<sup>[8]</sup>, 施用白云石粉对当季土壤速效 P 有负面影响; 随着时间的推移, 碳酸盐矿物颗粒完全分解, 施用白云石粉更有利于土壤速效 P 含量的提高。

## 2.2 施用白云石粉对皖南红黄壤无机 P 组分的影响

由表 1 和表 2 可以看出, 皖南酸性红黄壤无机 P 以 Al-P、Fe-P、O-P 为主, Ca-P 所占比例较小。施用白云石粉的当季, 各白云石粉处理的 Al-P 含量明显低于 CK, 较其下降 13.76~22.2 mg/kg; CK 的 Al-P 占无机 P 总量的百分比为 19.7%, 较白云石粉处理高 2.8%~4.8%。这说明施用白云石粉后能与活性 P 产生沉淀的交换性 Al 含量急剧下降, 加上土壤 pH 值升高, 氢氧化铝对 P 的吸附量降低<sup>[9]</sup>, 所以导致 Al-P 含量下降。由表 1、表 2 还可以看出, 随着时间的推移, 土壤 Al-P 占无机 P 的比例越来越大, 白云石粉处理表现较为明显。2002 年白云石粉处理土壤 Al-P 含量较 1999 年分别增加了 74.6、59.8、69.0 和 102.4 mg/kg, 而 CK 增量仅为 60.8 mg/kg。2002 年白云石粉处理土壤 Al-P 占无机 P 的比例分别为 27.4%、28.1%、30.1% 和 32.2%, 均高于 CK 的 27.4%。可见施用白云石粉有利于提高皖南红黄壤 Al-P 占全 P 的比例, 尤以高量白云石粉处理效果更好。

表 1 施用白云石粉对皖南红黄壤无机 P 组分的影响 (mg/kg)

Table 1 Effects of dolomite application on fractions of inorganic P

白云石 粉用量	Al-P				Fe-P				Ca-P				O-P			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
CK	61.9	67.8	88.0	122.7	106.4	117.7	130.3	154.4	30.1	27.4	25.4	28.3	116.2	125.2	150.5	142.1
600 kg/hm <sup>2</sup>	39.7	46.1	79.0	114.3	89.6	108.8	117.4	130.6	33.8	27.9	23.5	23.7	102.5	137.7	112.6	148.0
1100 kg/hm <sup>2</sup>	45.9	43.4	81.5	105.7	89.6	101.8	124.8	117.7	37.2	26.4	32.6	28.8	105.0	121.5	139.1	124.0
1600 kg/hm <sup>2</sup>	48.1	72.2	76.8	117.1	94.0	132.2	113.2	116.2	35.3	26.4	31.1	29.5	107.5	130.6	152.0	125.8
2500 kg/hm <sup>2</sup>	41.0	53.6	84.7	143.4	87.3	111.9	127.0	128.6	35.9	26.9	32.9	28.2	100.0	128.0	145.4	145.6

表 2 无机 P 各组分占无机 P 总量的百分比 (%)

Table 2 Percentages of different fractions of inorganic P to total inorganic P

白云石 粉用量	Al-P				Fe-P				Ca-P				O-P			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
CK	19.7	20.0	22.3	27.4	33.8	34.8	33.1	34.5	9.6	8.1	6.5	6.3	36.9	37.0	38.2	31.8
600 kg/hm <sup>2</sup>	14.9	12.3	23.8	27.4	33.7	34.0	35.3	31.3	12.7	8.7	7.1	5.7	38.6	43.0	33.8	35.5
1100 kg/hm <sup>2</sup>	16.5	14.8	21.5	28.1	32.2	34.7	33.0	31.3	13.4	9.0	8.6	7.7	37.8	41.5	36.8	32.9
1600 kg/hm <sup>2</sup>	16.9	20.0	20.6	30.1	33.0	36.6	30.4	29.9	12.4	7.3	8.3	7.6	37.7	36.1	40.7	32.4
2500 kg/hm <sup>2</sup>	15.5	16.7	21.7	32.2	33.1	34.9	32.6	28.8	13.6	8.4	8.4	6.3	37.9	39.9	37.3	32.7

试验第一、二年 CK 土壤的 Fe-P 含量及其占无机 P 比例均较高。其后各处理土壤 Fe-P 含量呈逐年上升的趋势,但施白云石粉处理 Fe-P 占无机 P 的比例有所下降(表 2)。试验第一年 CK 土壤 O-P 含量高达 116.2 mg/kg,比白云石粉各处理高 8.7~16.2 mg/kg,但各处理中 O-P 占无机 P 总量的百分比各处理间差异不大。在以后几季作物中各处理 O-P 含量都有增高,但占无机 P 总量的百分比与 1999 年相比都有明显的下降。

施用白云石粉可提高皖南红黄壤当季土壤的 Ca-P 含量,以中量白云石粉处理对 Ca-P 提高效果最好。1999 年白云石粉 1100 kg/hm<sup>2</sup> 处理土壤 Ca-P 含量为 37.2 mg/kg,比 CK 增加 7.1 mg/kg。随着年限的延长,增加效果逐渐减弱,至 2002 年施用白云石粉处理土壤 Ca-P 含量与 CK 差异不明显。

### 2.3 土壤速效 P 与作物产量及无机 P 组分的关系

王伯仁等<sup>[10]</sup>研究表明,在南方红壤地区,Olsen-P 与 Bray-P 和作物产量都有很好的相关性,有效 P 含量高,作物产量就高。而本试验结果,施用白云石粉的第一年,作物产量与土壤速效 P 含量呈负相关,CK 土壤的速效 P 含量最高,而产量却最低,这一结果与以往酸性土壤施用石灰类物质可提高土壤有效 P 含量和作物产量的结果不大一致。这可能是因为施用白云石粉的当季,土壤中交换性 Al 含量急剧下降,活性较高的 Al-P 的生成量相对较少,加上作物吸收量较大及 P 与 Ca 形成不溶性的磷酸钙,导致土壤速效 P 含量反以 CK 最高,而由于白云石粉能够改善红黄壤不良的理化性状,促进作物生长,因而作物产量明显提高。其后几季作物中,随着白云石粉各处理中有效性较高的 Al-P 含量的增加,土壤速效 P 含量上升幅度明显高于 CK,土壤速效 P 的含量和产量的正相关性也明显增加。

土壤速效 P 含量不但与土壤全 P 含量、无机 P 和有机 P 占全 P 比例有关,而且无机 P 各组分含量对土壤速效 P 含量的高低也有十分重要的影响。4 年土壤速效 P 与 Al-P、Fe-P、O-P 和 Ca-P 的相关系数分别为 0.9073\*\*、0.7649\*\*、0.5741\* 和 -0.4895。速效 P 与 Al-P、Fe-P 和 O-P 的相关系数达显著水平。速效 P 与 Ca-P 相关系数为负值,可能原因是土壤中 Ca-P 含量低、占无机 P 比重小,再加上 Ca-P 的活性较高<sup>[6]</sup>,易于被植物吸收利用,而皖南红黄壤土壤 Ca 含量较低,Ca-P 得不到很好补充,故 Ca-P

含量逐年下降,因而表现出与速效 P 含量呈负相关。对其结果进行多元线性回归分析,回归方程为  $\hat{y} = 17.4701 + 0.1562x_1 + 0.0696x_2 - 0.1803x_3 - 0.0837x_4$  ( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  分别代表 Al-P、Fe-P、Ca-P 和 O-P,  $\hat{y}$  代表速效 P)。逐步剔除对速效 P 影响最小且不显著的自变量,可得一元线性回归方程  $\hat{y} = 8.7095 + 0.01645x_1$  ( $F=83.84$ ,  $P<0.01$ ,  $R^2=0.8232$ ),表明 Al-P 为皖南红黄壤最有效的 P 源,土壤中速效 P 含量有 82.32% 是由 Al-P 所决定的。Fe-P 为潜在 P 源,O-P 虽与土壤速效 P 相关性达到显著水平,但从理论上讲并不能作为有效 P 的给源<sup>[11]</sup>。Ca-P 虽然有效性较高,但因其含量较低,并不能成为皖南红黄壤土壤速效 P 含量的决定因素。

### 3 结论

(1) 多年施用化学 P 肥可以明显提高皖南红黄壤全 P、无机 P 和速效 P 的含量,土壤有机 P 含量则呈逐年下降趋势。

(2) 土壤无机 P 各组分中,Al-P 和速效 P 的相关性最好,其次为 Fe-P、O-P 次之,Ca-P 最差。

(3) 施用白云石粉,各处理 Al-P、Fe-P、O-P 的含量逐年上升,随时间的增加,Al-P 含量上升幅度大于 CK。至 2002 年,施用白云石粉 1100、1600、2500 kg/hm<sup>2</sup> 处理土壤 Al-P 占无机 P 总量的百分比均明显高于 CK,Fe-P 占无机 P 总量的百分比低于 CK,O-P 差异不明显。可见施用白云石粉后期可以促进施入的 P 肥向有效性较高的 Al-P 转化,抑制有效性较低的 Fe-P 的形成,从而提高肥料 P 的有效性。

(4) 在酸性土壤上施用石灰类物质能够提高土壤交换性 Ca、Mg 的含量,减少交换性 Al 的含量,致使土壤 Ca-P 含量上升。本试验结果表明:施用白云石粉的当季的确能提高土壤 Ca-P 含量,但其增量不大,而 Al-P 的含量与 CK 相比则有大幅度下降,因而施用白云石粉的当季更多的表现出抑制 Al-P 的生成,导致土壤速效 P 含量下降。而在其后的几季作物中,施过白云石粉的各处理交换性 Al 的含量虽仍旧低于 CK,但 Al-P 含量的增量明显高于 CK,其原因有待进一步研究。

(5) 在改良皖南酸性红黄壤时,如何确定合适的石灰类物质的用量,以致于既能有效地减轻过多的活性 Al 对植物生长造成的危害,又能确保一定量的交换性 Al 的存在,从而提高肥料 P 的有效性将变得十分有意义。

## 参考文献：

- [1] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988: 52-60
- [2] 安徽省土壤普查办公室编. 安徽土壤. 北京: 科学出版社, 1994: 96-103
- [3] 王允青, 郭熙盛, 武际, 朱宏斌, 王文军. 皖南酸性红壤施用不同石灰质矿物对玉米生长的影响. 安徽农业科学, 2004, 32 (5): 931-932
- [4] 朱宏斌, 王允青, 武际, 王文军, 郭熙盛. 酸性黄红壤上施用不同白云石的作物产量效应和经济效益评价. 土壤肥料, 2003 (5): 17-20
- [5] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分系统研究法. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 17-41
- [6] 南京农业大学. 土壤农化分析. 2 版. 北京: 农业出版社, 1992
- [7] 漆玉邦, 李淑南, 曾令军. 西南红黄壤磷的形态研究. 西南农业大学学报, 1995, 13 (1): 22-25
- [8] 袁可能编著. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983
- [9] 孟赐福, 傅庆林. 施石灰石粉后红壤化学性质的变化. 土壤学报, 1995, 32 (3): 300-307
- [10] 王伯仁, 徐明岗, 文石林, 李冬初. 长期施肥对红壤旱地磷组分及磷有效性的影响. 湖南农业大学学报, 2002, 28 (4): 293-297
- [11] 顾益初, 蒋柏藩. 风化对土壤粒级磷素形态转化及有效性的影响. 土壤学报, 1984, 21 (2): 134-143

## Effects of Dolomite on Chemical Fractions and Availability of Phosphate in Acid Red and Yellow Soil of South Anhui Province

WANG Wen-jun, GUO Xi-sheng, WU Ji, ZHU Hong-bin

(*Soil and Fertilizer Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China*)

**Abstract:** Effects of dolomite on chemical fractions and availability of phosphate in red and yellow soil of south Anhui Province were studied. Results showed that application of P fertilizer could improve the contents of total P and inorganic P significantly, while decreased the content of organic P. The correlations between the contents of available P and various fractions of inorganic P were best for Al-P, Fe-P and O-P second, and Ca-P worst. Al-P is the most important source of available P. As time passed by, the effect of dolomite increasing the content of Al-P was getting more significant.

**Key words:** Dolomite, Acid red-yellow soil, Chemical fractions of inorganic phosphate, Correlation