

# 施石灰石粉后红壤化学性质的变化\*

孟 赐 福 傅 庆 林

(浙江省农科院土壤肥料研究所, 310021)

## 摘 要

红壤施用石灰 10 年的田间试验和盆栽试验的结果表明: (1) 施用石灰能降低土壤酸度, 增加土壤中交换性 Ca 和 Mg 含量, 从而导致作物产量的提高; (2) 底土酸度的降低随时间的推移和石灰用量的增大而增强, 每公顷施用 3.25—15.0 吨石灰石粉的降酸和增产效应至少可维持 10 年以上; (3) 每公顷施用 7.5 吨石灰石粉能显著提高土壤有机质、全氮及速效磷含量; (4) 土壤有效锌和有效铜含量随 pH 升高而增加, 并与有机质含量呈正相关, 相关系数分别为  $r = 0.965^{**}$  ( $n = 5$ ) 和  $r = 0.887^*$  ( $n = 5$ )。土壤有机质、有效磷、有效锌及有效铜的含量随土层深度增加而减少; (5) 缺磷的酸性土壤, 磷肥与石灰配施对增产效应更大。

关键词 红壤, pH, 石灰, 有效磷、锌、铜

我国长江以南广泛分布的红壤, pH 低, 酸性强, 其中所含的高量交换性铝严重抑制作物的生长和发育。施用石灰是众多改良红壤措施中最为有效的措施之一, 有关石灰改良红壤已有不少报道<sup>[1-3]</sup>, 但是有关施用石灰较长时间后的土壤化学性质, 特别是底土酸度的变化的报道则寥若辰星。本文将对红壤施用石灰后 4 年和 10 年的降酸效果进行比较, 同时探讨施用石灰对土壤有机质及有效磷、锌、铜的影响。

## 一、材料和方法

### (一) 供试土样及分析方法

田间试验和盆栽试验的土壤均为荒地黄筋泥, 其母质为第四纪红色粘土, 有关的化学性质列于表 1。本研究所用的分析方法: 土壤 pH (土:水为 1:5) 用玻璃电极法; 交换性铝用 1mol/L KCl 淋洗提取、中和滴定法; 交换性钙和镁用 1mol/L 中性醋酸铵淋洗提取、原子吸收分光光度法; 全氮用硒粉-硫酸铜-硫酸消化法, 全磷用高氯酸-硫酸-钼锑抗法; 全钾用氢氧化钠熔融-火焰光度计法; 碱解氮用扩散法; 有效磷用  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ -NaOH 提取, 钼钼蓝比色法; 有效钾用醋酸铵提取, 火焰光度计法; 有效铜和锌用 0.1mol/L HCl 提取, 原子吸收分光光度计法; 有机质用重铬酸钾法。植株磷用  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -Se-CuSO<sub>4</sub> 消煮, 钼钼酸铵比色法。

### (二) 田间试验

试验在浙江省兰溪市上华茶场的新垦黄筋泥上进行。试验地开垦于 1978 年, 试验前未种过任何作物。试验设 5 个处理, 即每公顷施 0, 3.75, 7.5, 11.25 及 15.0 吨石灰石粉 (74% 通过 100 目, 含 CaO 530g/kg), 分别用符号 L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, 及 L<sub>4</sub> 表示。随机区组设计, 重复 3 次, 小区面积 49m<sup>2</sup>。1980 年

\* 本研究内容属“八五”国家攻关 85-09-01-11 专题。卢旺达在浙江农业大学的留学生卢班·古拉参加了部分分析工作, 特此致谢。

表 1 供试土样的主要化学性质

Table 1 Selected chemical properties of the soils in the study

样品 Sample	pH	有机质 O. M. (g/kg)	全量养分 Total nutrient (g/kg)			速效养分 Available nutrient (mg/kg)			交换性铝 Exch. Al (cmol/kg)
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P	K	
田间	4.86	3.3	0.44	0.37	0.88	40.6	14.5	45	1.82
盆栽	4.83	4.7	0.35	0.39	0.94	15.4	3.1	0.5	0.99

7月2日一次撒施石灰石粉后一直未再施石灰。在施石灰后的第4年棉花收获后和第10年绿豆收获后按0—5、5—10、10—15、15—20、20—40及40—60cm分层取样,以观察施用石灰后土壤剖面中土壤酸度和养分的变化。

### (三) 盆栽试验

石灰和磷肥双因子试验,共12个处理。石灰用量设4个水平,即每公斤土施石灰石粉0,1.33,0.66及5.33克,分别用L<sub>0</sub>、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>及L<sub>3</sub>表示;磷用量设3个水平,即每公斤土施钙镁磷肥0,1.33及2.66克。随机排列,重复3次。所有处理中,每盆每公斤土施尿素0.66克和氯化钾0.33克。每盆装土7.5公斤。盆栽大豆为兰溪大青豆。大豆收获后取土样分析。

## 二、结果与讨论

### (一) 产量

红壤施用石灰石粉后均能显著增加作物产量,并且作物产量随石灰用量增加而增加。在田间试验中,与不施石灰相比,施石灰4年后籽棉产量比不施石灰石粉的对照增加406—680kg/ha,增产幅度为20.5—34.4%,差异达1%显著水平;在施石灰石粉10年后绿豆产量比对照增加531—1166kg/ha,增产幅度为130.5—286.5%,差异达5%显著水平(表2)。

表 2 施用石灰对棉花和绿豆产量的影响

Table 2 Effect of liming on yields of seed cotton and green grain

处 理 Treatment	籽 棉 (kg/ha) Seed cotton	绿 豆 (kg/ha) Green grain
L <sub>0</sub> <sup>2)</sup>	1976C <sup>1)</sup>	407c
L <sub>1</sub>	2382B	938b
L <sub>2</sub>	2544AB	1304a
L <sub>3</sub>	2656A	1334a
L <sub>4</sub>	2564AB	1573a

1) 同一列中注有相同大写(小写)英文字母的平均数为差异未达1%(5%)显著水平。

2) L<sub>0</sub>、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>和L<sub>4</sub>分别表示每公顷施用石灰石粉0、3.75、7.5、11.25及15吨。

在盆栽试验中(图1),不论施用石灰与否,施钙镁磷肥大豆产量均比不施磷肥的高,其产量差异达5%显著水平,但钙镁磷肥用量由每公斤1.33克增加到2.66克,并未增加大豆产量。不施磷肥处理中,大豆产量随石灰用量增大而增加,最高用量处理(石灰石粉,

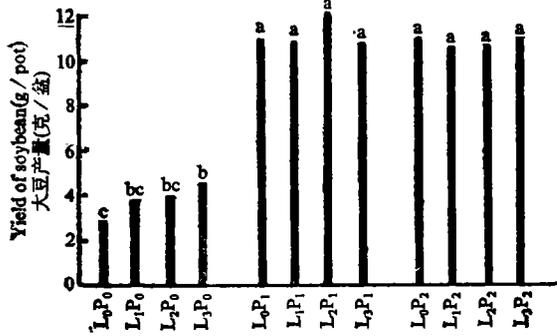
5.33g/kg) 比对照增产 63.6%, 差异达 5% 显著水平; 施磷处理中, 施用石灰没有增加大豆产量是因为钙镁磷肥中所含的钙足以消除铝离子的毒害作用。上述结果说明, 缺磷的酸性

性红壤, 磷肥与石灰配施, 对作物的增产效应更大。

(二) 土壤酸度

施用石灰 4 年 (1984) 和 10 年 (1990) 后, 土壤 pH 均随石灰用量的增大而升高, 而交换性铝均随石灰用量的增大而减少。这种作用, 在 1984 年时随土层深度的增加而急剧减弱, 但 1990 年时, 降酸作用随深度减弱的趋势得到明显的缓和 (图 2)。

由图 2 还可看出, 在施用石灰 4 年后的降酸作用主要集中在耕作所及的 0—20cm 表土, 但到了施用石灰 10 年后, 土壤酸度在 20—60cm 土层内也有程度不同的降低, 这种作用在高石灰用量处理表现得尤为明显。这



注: L<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> 和 L<sub>3</sub> 分别表示每公斤土施 0, 1.33, 2.66 和 5.33 克石灰石粉; P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> 和 P<sub>2</sub> 分别表示每公斤土施 0, 1.33 和 2.66 克钙镁磷肥。

图 1 施用石灰石粉和钙镁磷肥对大豆产量的影响  
Fig. 1 Effects of powdered limestone and calcium magnesium phosphate application on the yield of soybean

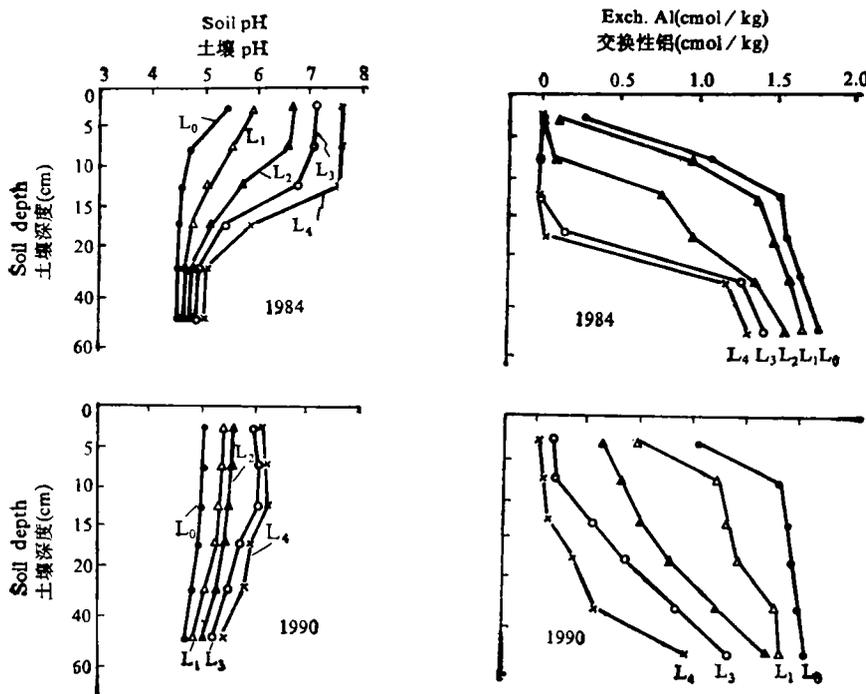


图 2 表施石灰石粉 4 年和 10 年后土壤酸度在剖面中的变化

Fig. 2 Changes of soil acidity with depth four and ten years after surface application of powdered limestone

说明, 尽管钙离子在质地粘重的红壤中的迁移速度十分缓慢, 但只要适当增加石灰用量, 经过较长的时间, 底土的酸度仍然可以得到明显的降低。

施用石灰 4 年后 0—20cm 土壤 pH, 高于施石灰 10 年后的土壤 pH, 而该层的交换性铝含量, 施石灰 10 年后的交换性铝含量则高于施石灰 4 年后的交换性铝含量 (图 2)。这说明, 施石灰后的表土随着时间的推移而酸化。这种酸化是由于钙离子向深层土壤的缓慢移动、作物秸秆和籽粒年复一年地带走钙及酸化肥料不断施用的结果。不过, 高石灰用量处理有助于抵消这种复酸化过程, 这正是高用量石灰处理的绿豆产量高于低用量石灰处理的原因所在。

### (三) 交换性钙和镁

施用石灰石粉 10 年后, 土壤剖面各层的交换性钙和镁含量均随石灰石粉用量的增大而增加, 但表土各层 (0—5、5—10、10—15 及 15—20 cm) 的增加要比底土各层 (20—40 和 40—60cm) 的增加要大得多。不施石灰石粉的对照, 交换性钙和镁在 0—10cm 的表土增加较为明显 (图 3)。这种增加应归因于钙镁磷肥的施用。底土交换性钙和镁含量随石灰石粉用量增大而增加, 说明钙、镁离子的移动只有在粘粒上的交换位被钙、镁离子饱和后才能发生。

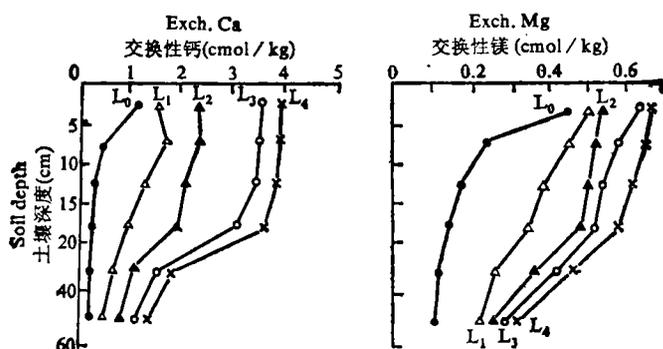


图 3 表施石灰石粉 10 年后交换性钙、镁随土壤深度的变化

Fig. 3 Changes of exchangeable Ca and Mg with soil depth ten years after surface application of powdered limestone

### (四) 盐基饱和度和铝饱和度

施用石灰石粉 10 年后, 盐基饱和度随石灰石粉用量的增大而增加, 表土 (0—20cm) 盐基饱和度, 处理  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  及  $L_4$  分别达到 50%、75%、85% 及 95%; 与对照相比底土的盐基饱和度也有明显增加 (图 4)。矿质土壤有效阳离子交换量 (交换性盐基 + 交换性酸) 的铝饱和度与土壤溶液的铝量之间存在着良好的相关性。根据 Kamproth (1970)<sup>[9]</sup> 的研究, 玉米生长最好时的土壤铝饱和度要低于 44%, 而棉花和大豆则要低于 10%。 $L_2$ 、 $L_3$  及  $L_4$  处理的表土 (0—20cm) 铝饱和度均低于 30%, 这正是这些处理的绿豆产量显著高于  $L_1$  和  $L_0$  处理的原因所在。由图 4 还可看出,  $L_2$ 、 $L_3$  及  $L_4$  处理铝饱和度低于 30% 的土壤深度分别可达 30、40 及 50cm。底土酸度的降低, 使得作物根系能向下层土壤伸展, 因此吸收养分和水分的能力增强, 这是这些处理有较高绿豆产量的另一个原因。

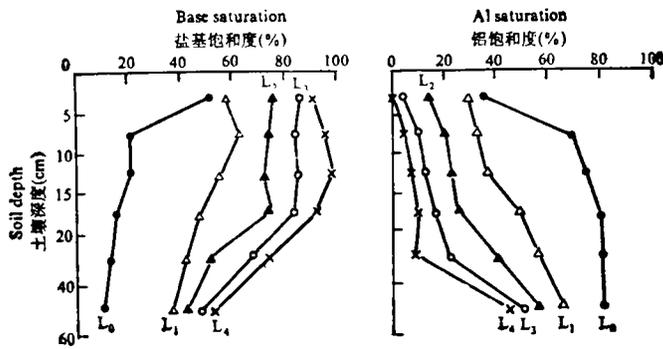


图 4 表施石灰石粉 10 年后盐基饱和度和铝饱和度随土壤深度的变化

Fig. 4 Changes of base saturation and Al saturation with soil depth ten years after surface application of powdered limestone

(五) 土壤有机质和养分

施用石灰石粉处理的土壤有机质和全氮有不同程度的增加, 其中 L<sub>2</sub> 和 L<sub>3</sub> 两个处理有机质的增加达 5% 显著水平, 而全氮含量的增加只有 L<sub>2</sub> 处理达 5% 显著水平 (表 3)。施用石灰 10 年后土壤有机质和全氮的增加, 是由于它促进了作物生长, 增加了秸秆和根茬产量, 从而导致残留在土壤中的落叶和根茬数量的相应增加。

表 3 施用石灰对红壤表层 (0—20cm) 化学性质的影响

Table 3 Effect of liming on the chemical properties of surface soil (0—20cm)

处理 Treatment	有机质 O. M. (g/kg)	全量养分 Total nutrient (g/kg)			速效养分 Available nutrient (mg/kg)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P	K
L <sub>0</sub>	10.8 <sup>b1)</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.84 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	23.2 <sup>b</sup>	114 <sup>a</sup>
L <sub>1</sub>	11.7 <sup>ab</sup>	0.80 <sup>ab</sup>	0.86 <sup>a</sup>	1.04 <sup>a</sup>	88 <sup>a</sup>	31.3 <sup>ab</sup>	140 <sup>a</sup>
L <sub>2</sub>	13.1 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	41.7 <sup>a</sup>	122 <sup>a</sup>
L <sub>3</sub>	12.9 <sup>a</sup>	0.81 <sup>ab</sup>	0.87 <sup>a</sup>	1.09 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	30.3 <sup>a</sup>	159 <sup>a</sup>
L <sub>4</sub>	11.1 <sup>b</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.86 <sup>a</sup>	0.97 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	23.2 <sup>b</sup>	145 <sup>a</sup>

1) 同一列中注有相同英文字母的平均值为未达 5% 显著水平。

施用石灰对土壤碱解氮和速效钾均无显著影响, 但总的趋势是施用石灰使碱解氮略有降低, 而使速效钾略有增加。L<sub>2</sub> 处理的土壤速效磷较对照显著增加, 而其他施用石灰处理土壤速效磷增加不显著或没有增加。施用石灰提高土壤有效磷的原因是: (1) pH 5.5 时, 能与活性磷产生沉淀反应的交换性铝基本上消失<sup>[12]</sup>; (2) 无定形氢氧化铝对施入磷肥的吸附随 pH 的升高而降低<sup>[8]</sup>, 以及随着 pH 的升高, 氢氧化铝对 P 的吸附能降低<sup>[9]</sup>。我们的结果与 Fox 等 (1962)<sup>[7]</sup> 认为在 pH 5 和 6 之间磷肥的溶解度最大的结果是一致的。高用量石灰处理 (L<sub>2</sub> 和 L<sub>3</sub>) 土壤有效磷增加不大或没有增加应归因于作物吸收量较大和 P 与 Ca 形成不溶性的磷酸钙。Ragland 和 Seay (1957)<sup>[10]</sup> 也曾报道, 当钙饱和度大于 60% 时, 土壤粘粒对 P 的吸持量增大。

大豆盆栽试验时土壤有效磷与土壤 pH 之间的关系如图 5 所示。在不施钙镁磷肥时,土壤有效磷随 pH 的升高(石灰用量的增大)而降低;施用中量钙镁磷肥时,在 pH 6.6 以下时,土壤有效磷随 pH 的升高而增加,但 pH 继续升高有效磷呈下降趋势;施用高用量钙镁磷肥时,有效磷先是随 pH 升高而降低,随后又随 pH 升高而增加。这一结果说明,施用石灰对土壤有效磷的影响因土壤中原有磷的水平或施用磷肥的多少而异。至于产生这一现象的原因有待进一步探讨。

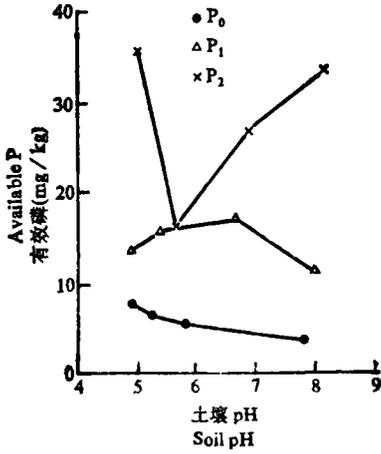


图 5 不同施磷水平下施用石灰石粉对有效磷的影响

Fig. 5 Effect of powdered limestone application on available P at different levels of P application

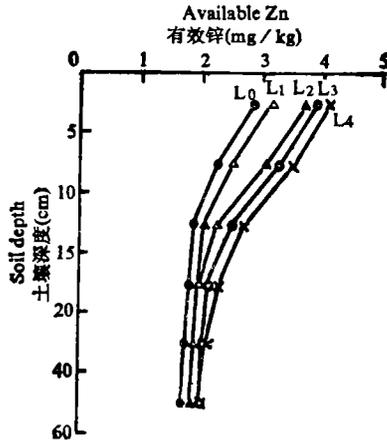


图 6 施用石灰石粉对土壤有效锌的影响

Fig. 6 Effect of powdered limestone application on the available Zn of the soil

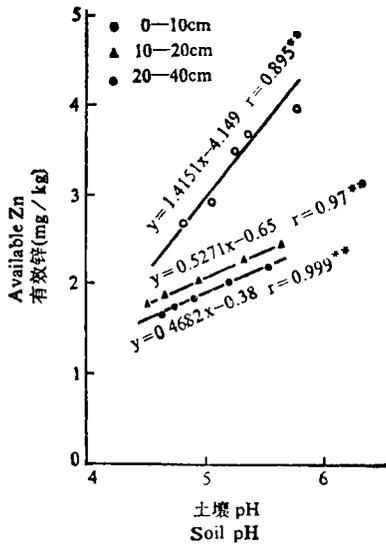


图 7 施石灰 10 年后土壤 pH 与有效锌的关系  
Fig. 7 Relationship between soil pH and available Zn ten years after liming

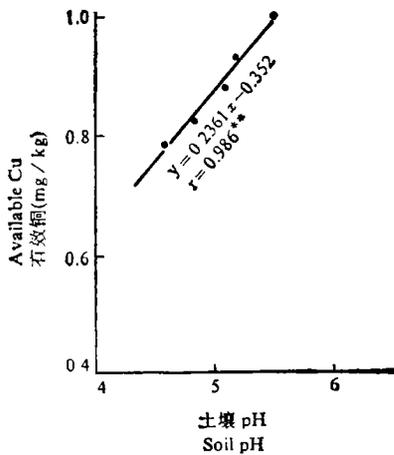


图 8 施用石灰后 10 年土壤 pH 与有效铜的关系  
Fig. 8 Relationship between soil pH and available Cu ten years after liming

### (六) 有效锌和有效铜

土壤有效锌含量随石灰用量增加(土壤 pH 增高)而增大(图 6,7);0—20cm 土层土壤有效铜含量随土壤 pH 升高而增大(图 8)。这与欧阳洮等(1988)<sup>[4]</sup>对水稻土 pH 与有效态 Zn、Cu 含量的相关性研究结果相反。随着土层深度增加,有效锌和有效铜含量显著减少(图 6,表 4)。因为土壤有效锌、铜与有机质含量呈正相关,相关系数分别是  $r = 0.965^{**}$  ( $n = 5$ )、 $r = 0.887^*$  ( $n = 5$ )。随着土层深度增加,土壤有机质减少,因而有效锌、铜含量都降低。这一结果与 Chen (1990)<sup>[6]</sup>的土壤有效锌随有机质减少而减少及 Shuman (1986)<sup>[11]</sup>发现的土壤有效铜与有机质含量呈正相关结论一致。

表 4 施用石灰 10 年后有机质、有效锌和有效铜所有处理平均值在土壤剖面中的分布

Table 4 Distribution of average contents of organic matter, available Zn, and available Cu for all treatments in the profile ten years after liming

土壤深度 Depth (cm)	有机质 O. M. (g/kg)	有效态 Available (mg/kg)	
		Zn	Cu
0—5	14.9	2.92	0.97
5—10	11.4	2.15	0.78
10—15	8.3	1.68	0.76
15—20	3.8	1.31	0.75
20—40	2.9	1.16	0.62

### 参 考 文 献

1. 孟赐福、水建国, 1984: 施用石灰石粉对红壤化学性质以及对大豆生长和产量的影响。浙江农业科学, 第 5 期, 217—221 页。
2. 孟赐福、袁嗣良, 1988: 淹水条件下施石灰和有机质对酸性土壤性质和磷吸附的影响。土壤学报, 第 25 卷 2 期, 146—155 页。
3. 何电源、臧惠林、张效朴, 1981: 红壤的酸度与作物生长及石灰施用的研究。农业现代化研究, 第 2 期, 33—40 页。
4. 欧阳洮等, 1988: 石灰性水稻土的化学组成与微量元素供给状况, 土壤, 第 20 卷 5 期, 232—238 页。
5. Bache, B. W., 1964: Aluminum and iron phosphate studies relating to soils II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. J. Soil Sci., 15:110—116.
6. Chen, J. H. and S. A. Barber, 1990: Effect of liming and adding phosphate on predicted phosphorus uptake by maize on acid soils of three soil orders. Soil Sci., 150(6): 844—850.
7. Fox, R. L., S. K. De Datta, and G. Donald Sherman. 1962: Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. Int. Soc. Soil Sci., Trans. Comm. IV, V (Palmerston N., New Zeal.) p. 3—12.
8. Hsu, P. A. and D. A. Reanie, 1962: Reactions of phosphate in aluminum systems I. Adsorption of phosphate by x-ray amorphous aluminum hydroxide. Can. J. Soil Sci., 42: 197—209.
9. Kamprath, E. J., 1970: Exchangeable aluminum as a criterion for liming leaching mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34: 252—254.
10. Ragland, J. L., and W. A. Seay, 1957: The effects of exchangeable calcium on the retention and fixation of phosphorus by clay fraction of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21: 261—264.
11. Shuman, L. M., 1986: Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc among soil fraction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 50:1236—1240.
12. Wild, A., 1953: The effect of exchangeable cation on the retention of phosphate by clay. J. Soil Sci., 4:72—85.

## CHANGES IN CHEMICAL PROPERTIES OF RED SOIL AFTER SURFACE APPLICATION OF POWDERED LIMESTONE

Meng Cifu and Fu Qinglin

*(Institute of Soil and Fertilizers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, 310021)*

### Summary

The results of a 10-year liming field experiment and pot experiment indicated that (1) the reduction in the soil acidity and the increase in the contents of exchangeable Ca and Mg after application of powdered limestone resulted in the yield increase of green grain; (2) the reduction in soil acidity of the subsoil increased as the time of application of powdered limestone prolonged and lime rate increased, the effects of reducing soil acidity and increasing the yields of the crops could last at least 10 years; (3) the treatment with 7.5 t/ha powdered limestone significantly increased the contents of organic matter, total N, and available P; (4) the contents of available Zn and Cu of the soil increased as the pH increased and were significantly related to organic matter content of the soil, those correlation coefficients were 0.965\*\* ( $n = 5$ ) and 0.887\*\* ( $n = 5$ ), respectively; (5) the contents of organic matter available Zn, and available Cu decreased with the increase of soil depth and (6) for red soil deficient in P, application of lime in combination with phosphorus fertilizer had an even better effect on the yield increase of soybeans.

**Key words** Red soil; pH; Liming; Available P, Zn, and Cu