

# 施用石灰对温州蜜柑树体营养和果实品质 及酸性柑橘园土壤养分有效性的影响

张影<sup>1</sup> 胡承孝<sup>1</sup> 谭启玲<sup>1</sup> 胡世全<sup>2</sup> 郑苍松<sup>1</sup> 曾伟男<sup>1</sup> 贵会平<sup>1</sup>

1. 华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070; 2. 湖北省宜昌市夷陵区特产技术推广中心, 宜昌 443100

**摘要** 以16年生龟井温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)为试材,考察施用石灰对柑橘园酸性黄棕壤的土壤养分有效性以及树体养分和果实品质的影响。结果表明:施用石灰(1.5 kg/株)显著提高不同土层土壤的pH值,其中0~20、20~40、40~60 cm土层分别较对照提高0.87、0.99、0.47个pH单位;增加土壤有效N、P、Ca、Mg含量,其中耕层土(0~20 cm)增加幅度分别为30.82%、71.13%、64.06%、14.27%;且提高柑橘营养枝叶片N和果肉K含量。施用石灰降低了土壤有效Fe、Mn、Zn含量,降幅分别为53.61%、54.83%、51.06%;并使柑橘营养枝叶片Fe、Zn含量和果皮、果肉Mn含量下降。施用石灰还降低柑橘果实酸度,提高果实固酸比。

**关键词** 酸性黄棕壤; 石灰; 土壤养分; 温州蜜柑; 果实品质

**中图分类号** S 666 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0072-05

湖北省宜昌市夷陵区是我国宽皮柑橘种植适宜区和主要产区之一<sup>[1]</sup>,该地区土壤多为偏酸性黄棕壤,土层较为深厚,但土质一般较粘重。近年来,由于人为不当的农业措施,特别是铵态氮肥和部分酸性磷肥等化学肥料的大量施用,大大加快了柑橘园土壤酸化进程<sup>[2-3]</sup>。土壤酸化会引起土壤Al、Mn毒害、降低土壤微生物和大量土壤酶活性,导致土壤养分有效性下降,引发果树营养障碍、生长发育不良以及果实产量和品质下降等问题<sup>[4]</sup>。土壤酸化已经成为限制当地柑橘产业发展的主要因子之一。

施用石灰是一项传统而有效的酸性土壤改良措施,可以缓解土壤酸度危害,减轻酸性土壤对作物生长的不利影响,提高土壤中N、P、Ca、Mg的有效性,同时降低Al、Mn毒害,促进植株生长<sup>[5-6]</sup>。近年来,通过施用石灰改善酸化土壤多年生果树生长和养分吸收的研究日渐增多。合理地施用石灰可以有效地降低耕层土壤酸度,促进桃、梨、苹果等果树的养分均衡吸收,并可以改善苹果果实品质<sup>[7-9]</sup>,但有关石灰在酸性黄棕壤地区的宽皮柑橘生产上的研究目前报道尚少。笔者针对柑橘园土壤酸化加剧现状,考察施用石灰对酸性柑橘园土壤酸度、养分有效性以及树体养分吸收、果实品质的影响,为酸化土壤柑橘

产区高效、优质生产提供借鉴和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试柑橘品种为16年龟井温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.),供试土壤为酸性黄棕壤,耕层土壤基础理化性状:pH值4.52,有机质14.96 g/kg,碱解N 46.9 mg/kg,速效P 15.6 mg/kg,速效K 103.6 mg/kg,有效Ca 1 120.1 mg/kg,有效Mg 201.2 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验于2009年10月至2010年10月在湖北省宜昌市夷陵区鸦鹊岭镇温州蜜柑产区进行。试验设2个处理,分别为对照(CK)和施用石灰(Lime),以适宜柑橘生长的土壤pH 5.5~6.5<sup>[10]</sup>为改良目标,参考鲍士旦<sup>[11]</sup>和蔡东等<sup>[7]</sup>的方法,估算理论石灰施用量,最终确定石灰施用量为1.5 kg/株。每个处理设4个重复。每个重复选择树势一致、无病虫害、结果正常的柑橘树4株。石灰于2009年10月施用,施用方法为在树冠滴水线下撒施后深翻入土。同时,为了防止石灰的横向损失,每株柑橘树在树冠滴水线外20 cm,覆盖深40 cm的塑料薄膜包围树

收稿日期: 2013-09-21

基金项目: 现代柑橘产业技术体系(CARS-027)营养诊断与施肥岗位

张影,博士研究生,研究方向: 柑橘营养诊断和酸化柑橘园土壤改良, E-mail: yingzh@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 胡承孝,博士,教授,研究方向: 植物营养与农业生态安全, E-mail: hucx@mail.hzau.edu.cn

体。肥料施用、树体修剪等田间管理采取一致的、正常的栽培规范进行。

### 1.3 样品采集

2010 年 10 月份果实成熟时期分别采集土壤和果实样品。样品采集方法：每个处理选试验树 16 株，4 个重复，每个重复为 4 株柑橘树所取样品的混合样。土壤样品分别在每株树冠滴水线下 0~20 cm(耕层土)、20~40 cm(中层土)、40~60 cm(底层土)3 个土层采集，并进行风干处理。果实样品在树冠外围分 4 个方向采集，每株选取代表性果实 8 个，4 株柑橘树取果实样混合为 1 个样品，用四分法分离保证每个样品 16 个果实，一部分用于测定果实品质参数，剩余的果实用去离子水清洗后，分为果皮和果肉 2 部分，烘干粉碎用于养分含量测定。叶片样品在 2010 年 9 月份采集，在树冠中部外侧的四个方位采集生长中等的当年生营养春梢顶部向下第 2~3 片叶，每株树采集叶片 30 片，每个样品为 4 株柑橘树的混合样。叶片样品除去叶柄后先用含中性洗涤剂的水清洗 3 次，然后用 10 mmol/L HCl 浸泡 10~15 s，最后用去离子水清洗，105 °C 下杀青 15~20 min，再在 65~75 °C 下烘干至恒质量，粉碎用于叶片养分含量的分析测定。

### 1.4 样品分析

土壤 pH 值和土壤有效养分含量及植物样品养分含量按照常规养分测定方法测定<sup>[11]</sup>。果实单果质量和可食率用百分之一电子天平测定，手持数显糖量计测定可溶性固形物含量(the soluble solids, TSS)，NaOH 中和滴定法测定可滴定酸(titratable acid, TA)，2,6-二氯酚钠滴定法测定 Vc<sup>[12]</sup>。

### 1.5 数据分析

所有数据用 Excel 2003 进行数据处理，SPSS

PASW Statistics 18.0 进行统计分析，SigmaPlot 10.0 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用石灰对土壤 pH 的影响

在酸性土壤中施用石灰是改良酸性土壤的有效方法，施用石灰最大的作用是其碱性成分可以中和土壤中的活性酸，进而使土壤 pH 值升高。试验柑橘园土壤 pH 为 4.52，属酸性；随着土层深度增加，土壤 pH 有升高的趋势，底层土壤 pH 值显著高于耕层土壤。施用石灰 1 a 后，不同土层土壤 pH 均显著增加，0~20、20~40、40~60 cm 土层分别比对照提高 0.87、0.99、0.47 个 pH 单位(图 1)。

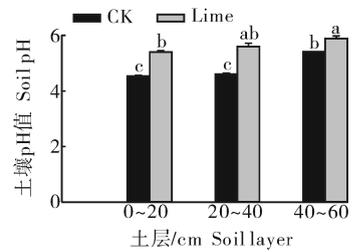


图 1 施用石灰对土壤 pH 的影响

Fig.1 Effect of liming on soil pH

### 2.2 施用石灰对土壤养分有效性的影响

随着土壤深度增加，土壤碱解 N 含量逐步降低，施用石灰显著增加 0~20 cm 和 40~60 cm 土层碱解 N 含量，较对照分别增加 30.82% 和 45.80%；0~20 cm 土层有效 P 含量显著高于 20~40、40~60 cm 土层，施用石灰显著增加了 0~20 cm 土层有效 P 含量，增加幅度为 71.13%，但对 20~60 cm 土层影响不显著；不同土壤深度有效 K 含量无明显差异，施用石灰对土壤 K 的有效性无影响(图 2)。

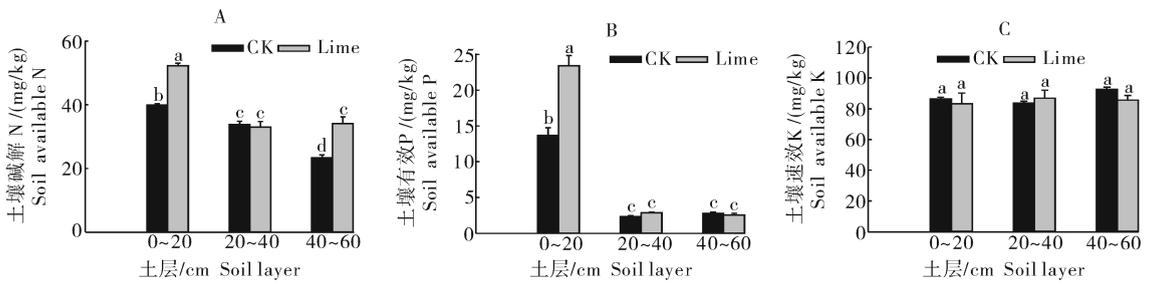


图 2 施用石灰对土壤 N、P、K 养分有效性的影响

Fig.2 Effect of liming on N,P,K nutrient availability

不施石灰处理，40~60 cm 土层有效 Ca 含量显著高于 0~20 cm 和 20~40 cm 土层，20~40 cm 和

40~60 cm 土层有效 Mg 含量显著高于 0~20 cm 土层，由此说明下层土有效 Ca、Mg 含量高于上层

土。施用石灰显著增加了 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的有效 Ca 含量,增加幅度分别为 64.06%、51.15%;施用石灰显著增加 3 个土层有效 Mg 含量,增加幅度分别为 14.27%、5.23%、5.37% (图 3)。

随着土壤深度增加,土壤有效 Fe、Mn、Zn 含量急剧下降。施用石灰显著降低了 0~20 cm 土层土

壤有效 Fe、Mn、Zn 含量,相应降幅分别为 53.61%、54.83%、51.06%;并且降低 20~40 cm 土层有效 Mn 含量,降幅为 24.27%。柑橘园土壤中的 Mn 的适宜范围为 5~20 mg/kg<sup>[10]</sup>,本试验土壤中有有效 Mn 含量远远高于临界值,存在 Mn 毒害现象,施用石灰可以有效缓解土壤 Mn 毒害,但可能抑制植物对 Fe、Zn 的有效利用(图 3)。

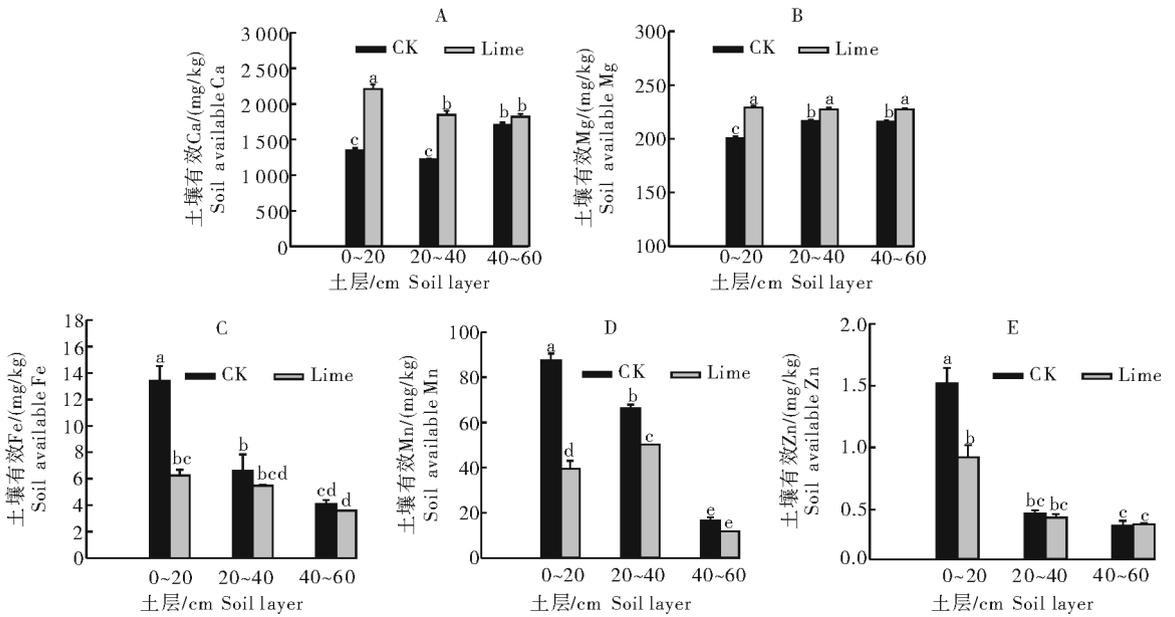


图 3 施用石灰对土壤中微量元素养分有效性的影响

Fig. 3 Effect of liming on soil secondary element and microelement nutrient availability

### 2.3 施用石灰对柑橘树体养分和果实品质的影响

不同矿质元素在柑橘树体中叶片、果皮、果肉的分布各异,N、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 含量表现为营养梢叶片明显高于果皮、果肉,而果肉 P 含量与叶片基本一致,果肉 K 含量明显高于叶片;果实中果肉 P、K 含量明显高于果皮,而果皮 Ca、Mg、Mn 含量

较高,果肉、果皮 N、Fe、Zn 含量差异不大。施用石灰显著增加叶片 N 含量、果肉 K 含量,显著降低叶片 Fe、Zn 含量及果皮、果肉 Mn 含量(表 1)。施用石灰可以显著降低果实可滴定酸含量,提高果实固酸比。但对单果质量、可食率、可溶性固形物以及 Vc 含量影响不明显(表 2)。

表 1 施用石灰对叶片、成熟果实(果皮、果肉)养分含量的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of liming on the nutrient contents of leaves and ripening fruits (peel, pulp)

项目 Item	处理 Treatment	N/%	P/%	K/%	Ca/%	Mg/%	Fe/(mg/kg)	Mn/(mg/kg)	Zn/(mg/kg)
叶片 Leaf	CK	2.05±0.03 b	0.100±0.005	0.42±0.01	4.17±0.05	0.50±0.01	114.5±2.5 a	66.9±0.5	25.2±0.6 a
	Lime	2.38±0.08 a	0.110±0.004	0.46±0.01	4.15±0.11	0.41±0.08	91.7±2.3 b	68.5±1.9	19.9±0.8 b
果皮 Peel	CK	1.04±0.06	0.040±0.002	0.27±0.01	0.65±0.01	0.16±0.01	23.8±0.3	10.2±0.8 a	5.9±0.4
	Lime	0.93±0.02	0.050±0.003	0.32±0.03	0.67±0.06	0.15±0.02	22.0±0.4	6.4±0.2 b	7.2±0.4
果肉 Pulp	CK	0.98±0.04	0.100±0.008	0.70±0.01 b	0.11±0.01	0.10±0.01	21.7±0.5	7.7±0.6 a	6.9±0.5
	Lime	1.01±0.09	0.110±0.003	0.82±0.05 a	0.10±0.01	0.12±0.01	16.6±5.6	4.3±0.7 b	6.5±0.7

1)表中数据为 4 次重复的平均值(标准误),不同字母表示它们之间达到显著性差异( $P<0.05$ ),下同。Average of four replicates (SE), different letters means the significant level at  $P<0.05$ . The same as below.

表2 施用石灰对温州蜜柑果实品质的影响

Table 2 Effect of liming on fruit quality parameters of satsuma mandarin

处理 Treatment	单果质量/g Fruit weight	可食率/% EP	可溶性固形物/% TSS	可滴定酸/% TA	固酸比 TSS/TA	维生素 C/(mg/100 g) Vitamin C
CK	120.8±6.12	79.96±1.52	10.07±0.12	1.07±0.02 a	9.44±0.27	25.83±0.56
Lime	127.5±7.19	84.51±0.71	9.93±0.29	0.86±0.05 b	11.66±0.66	25.73±0.37

### 3 讨论

供试土壤为酸性黄棕壤, pH 偏低。施用石灰 1 a 后, 显著增加了不同土层土壤 pH (图 1)。施用石灰可以有效改良酸化土壤, 在酸性红壤和黄棕壤取得相似结论<sup>[7,13]</sup>。本研究显示, 施用石灰 1 a 可显著提高 0~20、20~40、40~60 cm 3 个土层 pH 值; 而 Caires 等<sup>[6]</sup>在酸性土壤撒施石灰, 1 a 即可提高 0~10 cm 土层土壤的 pH, 但提高 0~60 cm 的土壤 pH 需要 3 a。可能是由两个原因造成, 首先本试验采取耕翻入土施用方法, 相比表面撒施可以加大石灰与土壤接触面积; 其次, 为了提高石灰的利用率, 选取柑橘树滴水线 20 cm 外覆深度 40 cm 的塑料防渗透膜, 减少石灰的横向损失, 加速了石灰向下部转移。土壤 pH 是影响土壤养分有效性的的重要因素之一。试验结果表明, 施用石灰显著增加了酸化柑橘园耕层土和底层土碱解 N 含量, 并大幅度提高耕层土有效 P 的含量(图 2)。土壤 pH 对土壤 N 素有效性的影响至今还存在争议。敖俊华等<sup>[5]</sup>认为石灰施用量与供试酸性土壤氮有效含量呈显著正相关, 而 Nakamura 等<sup>[14]</sup>则认为 pH 主要影响有机 N 含量, 对无机 N 影响不明显。P 在酸性土壤容易被无定形铁铝氧化物吸附形成难溶性磷酸盐, 而施用石灰可以降低土壤中 P 的固定, 提高土壤 P 的有效性<sup>[15-17]</sup>。土壤中 Ca<sup>2+</sup> 和 K<sup>+</sup> 可以竞争相同的吸附位点, 大量的 Ca<sup>2+</sup> 可以增加 K<sup>+</sup> 的活性, 而本试验结果表明施用石灰对土壤 K 有效性影响不明显, 可能是由于被固定的部分 K 属于交换性和水溶性 K, 也具备一定的有效性<sup>[18]</sup>。施用石灰显著增加了果肉中 K 的含量(表 1), 可以从侧面证明虽然施用石灰对土壤速效 K 影响不明显, 但高量的 Ca<sup>2+</sup> 置换出来的 K<sup>+</sup> 更利于柑橘作物的吸收。

施用石灰显著增加了耕层土和上层土的有效钙含量和 3 个土层镁的有效性(图 3)。这可能是由于本试验采用的是熟石灰, 其主要成分是 Ca(OH)<sub>2</sub>, 会优先吸附在有机交换位上而释放被固定的 Mg<sup>[19]</sup>。另外, 试验结果表明 pH 的增加造成活性 Fe、Mn、Zn 的固定, 并显著降低了果皮和果肉中

Mn 以及叶片中 Fe、Zn 的含量。本研究供试土壤和叶片都处于 Mn 过量的水平(图 3), 施用石灰有效减轻了 Mn 毒害, 这与前人研究结论一致。因此, 施用石灰类物质是酸性土壤上降低酸度的主要手段, 也是克服 Mn 毒最普通的方法, 但过量的石灰施用对 Fe、Zn 的有效利用不利。

施用石灰可以显著降低果实可滴定酸含量, 提高果实固酸比, 提高果实品质(表 2)。参考柑橘园土壤养分分级标准<sup>[10]</sup>, 本试验所选柑橘园土壤 N 含量偏低, P、K 也接近缺乏临界值, 存在缺乏风险。而施用石灰提高了土壤有效 N、P、Ca、Mg 的含量和叶片全 N、果肉全 K 含量, 虽然降低了 Fe、Zn 的养分吸收, 但叶片 Fe 含量仍处于适宜范围。因此, 可能由于在酸化土壤中施用石灰可以改善土壤微生物环境, 提高土壤微生物 C、N 量、呼吸速率和代谢商<sup>[20]</sup>, 并提高土壤中脲酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、多酚氧化酶和蛋白酶等水解酶的活性<sup>[4,21]</sup>, 进而有利于加速土壤有机质的矿化, 平衡土壤养分分配, 进而改善树体对 N、P、K 养分的吸收, 提高果实品质。因此, 针对土壤酸化比较严重的粘性黄棕壤柑橘园, 采用耕翻入土的施用方法, 施用 1.5 kg/株石灰可以有效中和酸度, 提高土壤多数养分有效性, 改善柑橘树体营养和果实品质。

### 参 考 文 献

- [1] 沈兆敏, 张伯雍, 何天富, 等. 我国柑桔的生态适宜性区划研究[J]. 中国农业科学, 1984, 25(2): 1-7.
- [2] 徐仁扣, COVENTRY D R. 某些农业措施对土壤酸化的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388.
- [3] 陈青云, 张晶, 谭启玲, 等. 4 种磷肥对土壤-叶菜类蔬菜系统中镉生物有效性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(1): 78-82.
- [4] 王涵, 王果, 黄颖颖, 等. pH 变化对酸性土壤酶活性的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2401-2406.
- [5] 敖俊华, 黄振瑞, 江永, 等. 石灰施用对酸性土壤养分状况和甘蔗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 266-269.
- [6] CAIRES E F, GARBUIO F J, CHURKA S, et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(1): 57-64.

- [7] 蔡东,李国怀,龚丽,等. 鄂南棕红壤区施用石灰对桃树叶片的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(25): 270-276.
- [8] 林泽安,王乾章,周富忠. 利川市石灰在黄金梨上的应用效果研究[J]. 农业科技通讯, 2013(6): 118-120.
- [9] 李庆军,林英,李俊良,等. 土壤 pH 和不同酸化土壤改良剂对苹果果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 209-213.
- [10] 鲁剑巍,陈防,王富华,等. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 390-394.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 77-80.
- [13] 段兴国,王国平,屠乃美,等. 施用石灰对酸性植烟土壤的改良效果[J]. 作物研究, 2010, 24(1): 36-38.
- [14] NAKAMURA T, NAKAMURA M. Ecophysiological mechanisms characterising fen and bog species: focus on variations in nitrogen uptake traits under different soil-water pH[J]. *Oecologia*, 2012, 168(4): 913-921.
- [15] 李寿田,周健民,王火焰,等. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 908-914.
- [16] DE-SOUZA R F, FAQUIN V, FERREIRA T P R, et al. Liming and organic fertilizer: influence on phosphorus adsorption in soils[J]. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 2006, 30(6): 975-983.
- [17] DE-SOUZA R F, FAQUIN V, DE-ANDRADE A T, et al. Phosphorus forms in soils under influence of liming and organic fertilization[J]. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 2007, 31(6): 1535-1544.
- [18] 何电源. 关于稻田施用石灰的研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(1): 87-93.
- [19] 孟赐福,傅庆林. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136.
- [20] STENBERG M, STENBERG B, RYDBERG T. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, 14(2): 135-145.
- [21] LALANDE R, GAGNON B, ROYER I. Impact of natural or industrial liming materials on soil properties and microbial activity[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2009, 89(2): 209-222.

## Effects of liming on nutrition status, quality of satsuma mandarin and acid soil nutrients availability of citrus orchard

ZHANG Ying<sup>1</sup> HU Cheng-xiao<sup>1</sup> TAN Qi-ling<sup>1</sup>

HU Shi-quan<sup>2</sup> ZHENG Cang-song<sup>1</sup> ZENG Wei-nan<sup>1</sup> GUI Hui-ping<sup>1</sup>

1. *Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Specialty Technology Promotion Center of Yiling Region, Yichang 443100, China*

**Abstract** The 16-year-old satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) planted on an acid yellow brown soil of Yiling district in Yichang city was used as experimental materials, effects of liming on improving soil acidification, plant nutrient absorption and fruit quality of satsuma mandarin were studied. The results showed that application of 1.5 kg/tree lime could increase soil pH in 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layer by 0.87 units, 0.99 units, 0.47 units, respectively. Liming could significantly increase soil available N, P, Ca, Mg contents by 30.82%, 71.13%, 64.06%, 14.27% in 0-20 cm soil layer and improve the foliar N contents and pulp K contents. Soil available Fe, Mn, Zn contents decreased by 53.61%, 54.83%, 51.06% in 0-20 cm soil layer, leading to the decline of foliar total Fe, Zn contents and peel, pulp Mn contents. Moreover, liming could reduce fruit acidity, improve fruit quality. Therefore, rational application of lime could increase soil pH, soil available N, P, Ca and Mg contents, alleviate Mn toxicity, and then improve citrus plant nutrition and increase fruit quality of satsuma mandarin in a viscous yellow brown soil with serious acidification.

**Key words** acid yellow brown soil; lime; soil nutrient; satsuma mandarin; fruit quality

(责任编辑:陆文昌)