

湖南温州蜜柑果实矿质养分与土壤 养分、pH的多元分析与模拟

曹 胜¹, 欧阳梦云², 周卫军^{1*}, 崔浩杰¹, 刘 沛¹, 谭 洁¹, 黄 兰¹, 刘 双¹

(¹湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ²湖南农业大学食品科技学院, 长沙 410128)

摘要:【目的】探讨湖南省柑橘园果实矿质元素与土壤养分的关系,为指导果园科学施肥提供参考依据。【方法】对湖南省主产区84个柑橘园土壤理化性质和果实矿质元素含量测试分析,运用SPSS、R和LINGO软件多元统计分析筛选出影响果实矿质元素的主要土壤因子,求解土壤养分线性规划方程,指出果园土壤养分缺素问题。【结果】Pearson相关分析结果表明,果实全钾、全钙和全铁含量与土壤pH呈正相关,其余的果实矿质养分与土壤pH均呈负相关;果实全氮、全磷和全钙含量与有机质含量呈负相关,其余养分与有机质含量均呈正相关。典型相关分析表明果实矿质元素与土壤养分因子间存在90.59%的相关性,果实矿质元素受到多个土壤元素的影响,果实全钙、全锰和全镁含量与土壤pH值、有效磷、有效锰、交换性镁和有效锌关系密切。应用多元线性逐步回归法和线性规划求解出果园养分优化方案:pH为5.50~6.50,有机质含量为15.00~30.00 g·kg⁻¹,碱解氮大于80.00 mg·kg⁻¹,有效磷大于80.00 mg·kg⁻¹,速效钾为100.0~200.0 mg·kg⁻¹,交换钙为1 000.00~2 000.00 mg·kg⁻¹,交换镁为150.00~300.00 mg·kg⁻¹,有效铁大于10.00 mg·kg⁻¹,有效锰为5.00~20.00 mg·kg⁻¹,有效锌为1.00~5.00 mg·kg⁻¹,有效铜和有效硼为0.50~1.00 mg·kg⁻¹。在调查柑橘园中,85.94%的样点柑橘园土壤pH值处于酸性至强酸性环境,76.56%的样点柑橘园土壤有机质含量处于适宜水平,1/3果园土壤有效氮、磷、钾含量偏低,有效钙、镁和硼元素含量严重不足,部分柑橘园土壤速效铁、锰、铜和锌过量。【结论】调节土壤酸碱性,增施有机肥,提高土壤中有效钙、镁和硼含量是今后湖南省柑橘园土壤培肥管理的重点。

关键词:柑橘园;湖南省;土壤养分;pH;果实矿质养分;多元统计分析

中图分类号:S666

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)08-1029-11

Multivariate analysis and modeling of fruit mineral nutrient, soil nutrient and pH in Satsuma mandarin citrus orchards in Hunan province

CAO Sheng¹, OUYANG Mengyun², ZHOU Weijun^{1*}, CUI Haojie¹, LIU Pei¹, TAN Jie¹, HUANG Lan¹, LIU Shuang¹

(¹College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; ²College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract:【Objective】84 soil and fruit samples from main citrus producing areas in Hunan province were collected to explore the relationship between soil nutrients, pH and fruit mineral nutrient, in order to provide reference for scientific fertilization in orchards in Hunan province.【Methods】Soil physical and chemical properties affect soil fertility, while tree nutrition reflects soil nutrient utilization efficiency. Understanding factors affecting soil nutrient utilization in citrus orchards is crucial for soil fertilizing and soil modification. When fruit matured, soil samples were collected from 5 sampling points arranged in an S pattern in each orchard and 10 fruit were taken at the same time from positions evenly distributed in the tree canopy. Soil samples at depths of 20-40 cm were taken 10 cm in-ward from the drip line at two opposite sides of the tree. To test and analyze mineral element contents in the soil and fruit from 84 producing citrus orchards in Hunan province, multivariate statistical analysis was per-

收稿日期:2018-11-05 接受日期:2019-04-30

基金项目:现代农业(柑橘)产业技术体系专项基金(CARS-27)

作者简介:曹胜,男,在读博士研究生,主要从事土地/土壤环境过程及模拟研究。Tel:15111466391,E-mail:1669149416@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13973140403,E-mail:wjzh0108@163.com

formed with SPSS, R and LINGO software to screen the main soil factors affecting the fruit mineral elements, and the problem of soil nutrient deficiency in the orchards was evaluated.【Results】The results showed that more than 85.94% of orchards had a soil pH that was acidic to strongly acidic in Hunan Province. The average soil pH value was 4.56, with a variation range of 3.19 to 7.37 and a variation coefficient of 17.57%. The soil organic matter (OM) content ranged from 10.09 to 39.68 g·kg⁻¹, with an average of 21.51 g·kg⁻¹. 76.56% of the citrus orchards had an appropriate soil OM content. The percentages of soils with suitable available N, P and K were 60.94%, 51.56% and 45.31%, respectively. The proportion of soils with serious deficiency in Ca, Mg or B was 43.75%, 56.25% and 85.94%, respectively. In some citrus orchards, the available Fe, Mn, Cu and Zn were excessive, proportions of which being 87.50%, 65.63%, 64.06% and 12.50%, respectively. Therefore, attention should be paid on the proportion of different nutrients to ensure their maximum absorption rate by the crop. The contents of total Ca, total Mn and total Mg were closely related to soil pH, available P, available Mn, exchangeable Mg and available Zn. However, simple factor correlation analysis could not explain the relationship between soil nutrient and fruit mineral elements. Pearson correlation analysis showed that fruit total contents of K, Ca and Fe were positively correlated with soil pH value, while the other mineral nutrients were negatively correlated with soil pH value. The total content of N, P and Ca were negatively correlated with the OM content, while the other nutrients were positively correlated with the OM content. Typical correlation analysis showed that there was 90.59% correlation between soil nutrient factors and fruit mineral elements. Multiple linear stepwise regression analysis showed that the mineral elements of fruit were affected by multiple soil elements. The fruit total K was positively correlated with soil alkaline N and available K. The fruit total Ca had a positive correlation with soil available Ca and Fe and a negative correlation with available K. The fruit total Mg was negatively correlated with soil available Ca. The fruit total Zn had a positive correlation with soil OM. The fruit total Mn was positively correlated with soil OM and available Mn, but negatively with available Ca and Zn. The fruit total B was positively correlated with soil alkaline N and available B, but negatively with available P and Mg. Through the method of linear programming, the optimal solution of soil nutrients for citrus orchard had a pH value of 5.50 to 6.50, organic matter 15.00 to 30.00 g·kg⁻¹, alkaline N > 80.00 mg·kg⁻¹, available P > 80.00 mg·kg⁻¹, available K 100.00 to 200.00 mg·kg⁻¹, exchange Ca 1 000.00 to 2 000.00 mg·kg⁻¹, exchange Mg 150.00 to 300.00 mg·kg⁻¹, available Fe > 10.00 mg·kg⁻¹, available Mn 5.00 to 20.00 mg·kg⁻¹, available Zn 1.00 to 5.00 mg·kg⁻¹, and effective Cu and B 0.50 to 1.00 mg·kg⁻¹.【Conclusion】This study objectively reflected the current situation of soil nutrient availability in citrus orchards in Hunan province, evaluated the relationship between soil and fruit nutrients, and established the optimal scheme of soil nutrient. Adjusting soil pH value, applying organic fertilizer, and increasing the effective Ca, Mg and B contents in soil will be the key points for soil fertility management in the citrus orchards in Hunan province.

Key words: Citrus orchard; Hunan province; Soil nutrients; pH; Fruit mineral nutrient; Multivariate analysis

湖南省是我国柑橘主产优势区之一,属大陆性亚热带季风湿润气候,截止到2017年末,全省柑橘种植面积为38万hm²,年产量在517万t以上。柑橘经济效益突出同时,柑橘品质问题也同样突出,国内外大量研究表明柑橘园土壤营养状况对柑橘优质生产影响深远,如鲍江峰等^[1]研究表明,土壤中诸多因

子直接影响湖北省纽荷尔脐橙的生长发育和品质表现,土壤pH、碱解氮和速效钾显著影响果皮亮度和果实可滴定酸含量;淳长品等^[2]、鲁剑巍等^[3]和Zhou等^[4]研究表明,多数果园土壤大量元素的有效含量处于缺乏范围,土壤pH值与有机质含量对果实营养元素含量影响显著。土壤理化性质影响土壤保肥和

供肥能力,树体营养则反映土壤养分利用效率,只有了解柑橘园土壤养分障碍因子,才能有针对性的开展土壤培肥改土工作^[5-8]。然而,关于湖南省柑橘园果实矿质营养与土壤养分关系的多元分析及优化方案在国内报道较少。为了科学地指导湖南省柑橘园合理施肥,改善土壤理化性质,提高柑橘果品质量,于2017年对湖南省84个柑橘主产区土壤及果实养分含量进行采样分析,明确了柑橘园土壤和果实养分丰缺状况,查明了柑橘园土壤养分限制因子,并就柑橘园果实养分与土壤关系进行了分析,筛选出影响柑橘果实矿质元素的主要土壤因子,并制定果园

土壤养分最优方案,以期为湖南省柑橘园科学施肥提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 土样和果样的采集

2017年11—12月,在湖南省柑橘主产区,包括湘南(江永县、临武县、宜章县、永兴县、新宁县、零陵县、冷水滩区)、湘西(黔城、泸溪县、麻阳县、永顺县、洪江市)、湘北(临澧县、石门县)等14个县,选择84个典型的柑橘园定点调查和采样(图1),以温州蜜橘园为研究对象,主栽品种为‘宫川温州蜜柑’(*Citrus sinensis* Lour. ‘Wenzhou Mei’)。

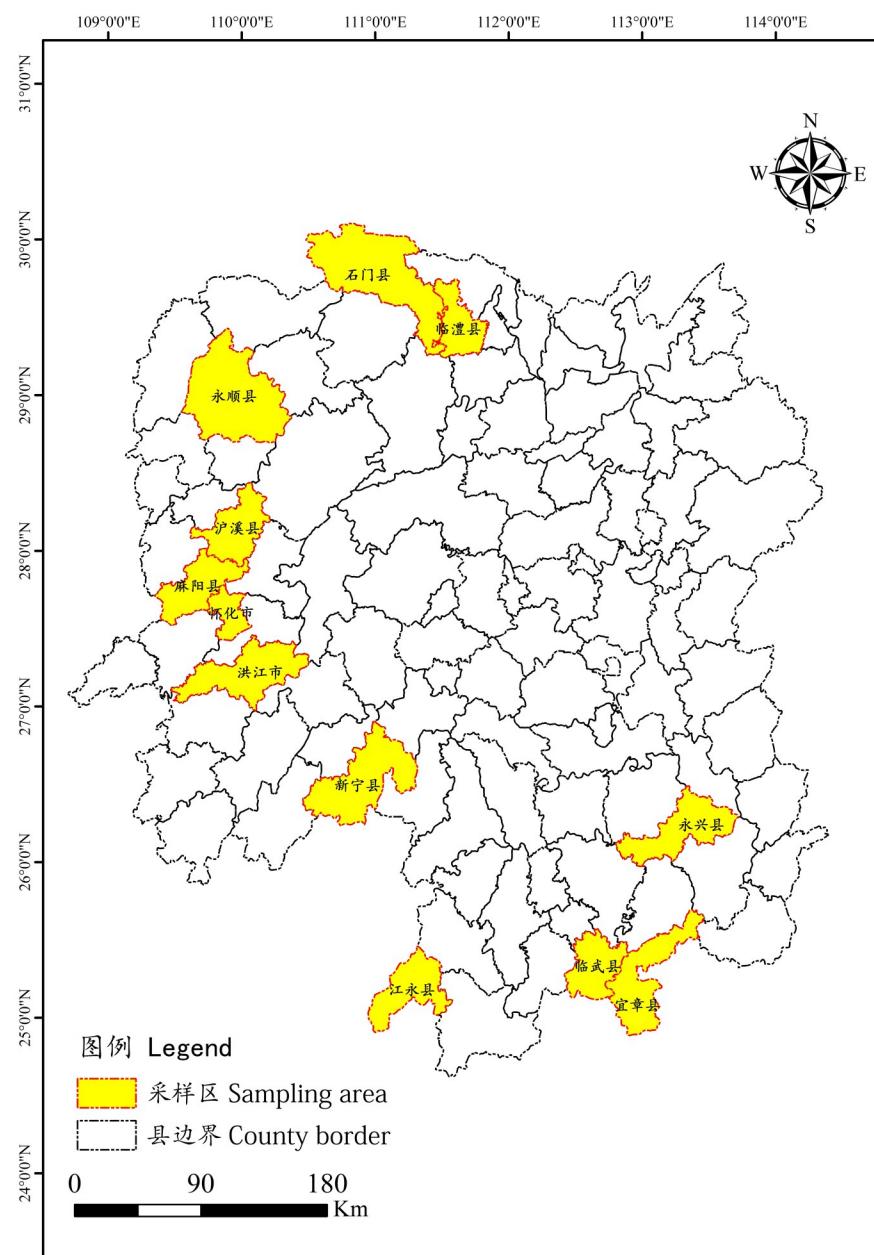


图1 湖南省柑橘园分布

Fig. 1 Distribution of citrus orchards in Hunan province

rus unshiu Marc ‘Miyagawa Wase’), 砧木为枳 [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], 树龄 15~30 a 生, 选取树冠滴水线内侧 10 cm 位置, 按照 S 型, 每个小区用土钻采集 5 点以上的 0~40 cm 土层土壤样品(图 2), 混合均匀后, 按四分法分取 1 kg 左右土样供分析使用, 于室内自然风干, 研磨制样, 分别过 10 目和 100 目筛, 装瓶待测。

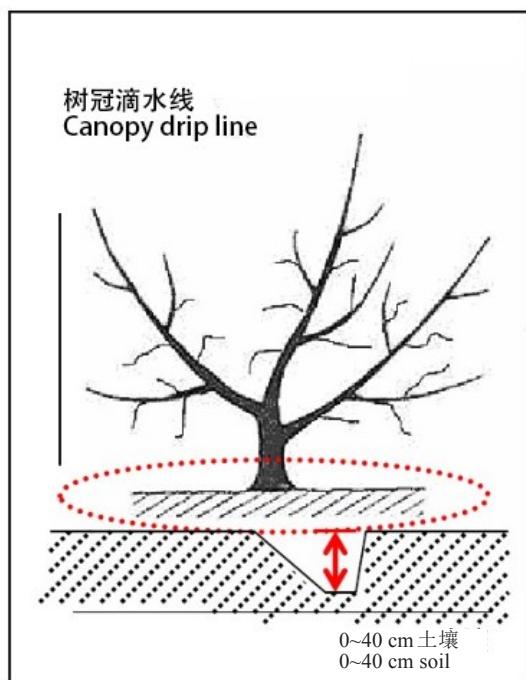


图 2 土样采集

Fig. 2 Soil samples collection

保证采集土壤和柑橘果实样品的采样点相对应, 选择树形和长势基本一致的 5 株柑橘树, 树冠四周随机采集果实 10 个, 室内经去离子水清洗, 切成小块, 105 ℃杀青, 70 ℃烘干至恒重, 玛瑙研钵磨粉

制样, 过 40 目筛, 用于矿质元素分析。

1.2 土壤和果实营养元素的测定^[9~10]

采用电位法测定土壤的 pH 值; 重铬酸钾容量法测定土壤的有机质 SOM 含量; 碱解扩散法测定土壤碱解氮; 钼锑黄比色法测定土壤有效磷; 乙酸铵浸提-火焰光度法测定土壤速效钾; 乙酸铵浸提-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤交换性钙和镁; DTPA 浸提-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中的铁、锰、铜和锌含量; 沸水-EDTA-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤有效硼。

果实总氮、磷、钾含量测定, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法制备待测液; 凯氏蒸馏法测定果实全氮, 钒钼黄比色法测定全磷, 火焰光度法测全钾; 三酸消煮的湿灰化法-电感耦合等离子体发射光谱法测定果实矿质元素铁、锰、铜、锌、钙、镁和硼含量, 均以干基质量计。

所有的数据采用 Microsoft Excel 2010 汇总整理, SPSS24.0、R 语言和 LINGO 软件统计分析, Arc-Gis 和 Origin2017 制图, 文中数据为 3 次重复样的平均值±标准偏差。

2 结果与分析

2.1 柑橘园土壤有效养分含量

湖南省柑橘园土壤 pH 平均值为 4.56, 有机质平均含量为 21.21 g·kg⁻¹; 土壤碱解氮、有效磷、速效钾平均含量分别为 82.27、24.67、165.91 mg·kg⁻¹; 柑橘园土壤交换性钙和镁含量平均值分别为 1 592.59 mg·kg⁻¹ 和 160.39 mg·kg⁻¹; 土壤有效铁、有效锰、有效铜、有效锌和有效硼平均含量为 89.07、45.21、1.93、3.16 和 0.32 mg·kg⁻¹(表 1)。

表 1 湖南省柑橘园土壤肥力

Table 1 Soil fertility in citrus orchards in Hunan province

项目 Item	pH	有机质 OM/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline N/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Avail P/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Avail K/ (mg·kg ⁻¹)	交换钙 Avail Ca/ (mg·kg ⁻¹)	交换镁 Avail Mg/ (mg·kg ⁻¹)	有效铁 Avail Fe/ (mg·kg ⁻¹)	有效锰 Avail Mn/ (mg·kg ⁻¹)	有效铜 Avail Cu/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌 Avail Zn/ (mg·kg ⁻¹)	有效硼 Avail B/ (mg·kg ⁻¹)
平均值 Mean	4.56	21.51	82.27	24.67	165.91	1592.59	160.39	89.07	45.21	1.93	3.16	0.32
最小值 Min	3.19	10.09	76.81	2.39	41.03	289.76	36.07	7.49	4.28	0.21	0.56	0.10
最大值 Max	7.37	39.68	92.8	81.51	639.51	7 369.23	686.86	468.31	219.55	16.61	14.49	0.90
标准差 STD	0.8	6.61	2.97	21.05	106.48	1 461.52	112.27	82.57	43.34	2.37	2.79	2.79
变异系数 CV	17.57	30.75	3.61	85.31	64.18	91.77	70.00	92.71	95.88	122.43	88.25	55.30

2.2 柑橘园果实养分含量

湖南省柑橘园果实大量元素全氮、磷和钾平均含量分别为9.98、1.69、9.73 g·kg⁻¹(表2)。柑橘是喜钙植物,果实内含钙丰富,平均值为2 909.67 mg·kg⁻¹,变异系数为29.79%。柑橘果实全镁平均含量为1 021.59 mg·kg⁻¹,变异系数为15.92%。果实中全

铁、锰、铜、锌和硼含量分别为28.36、11.12、2.75、4.14、19.11 mg·kg⁻¹。这与鲁剑巍^[3]报道的柑橘果实中各种养分含量相比较,果实中的矿质元素含量水平有了较大的提高,说明果农多年来重视果园施肥管理有关。但全磷、全铁、全锰、全铜和全锌变异系数较大,说明不同果园养分含量差异较大,这也可能

表2 湖南省柑橘园果实矿质营养基本状况

Table 2 Fruit mineral nutrition in citrus orchards in Hunan province

项目 Item	全氮 Total N/ (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K/ (g·kg ⁻¹)	全钙 Total Ca/ (mg·kg ⁻¹)	全镁 Total Mg/ (mg·kg ⁻¹)	全铁 Total Fe/ (mg·kg ⁻¹)	全锰 Total Mn/ (mg·kg ⁻¹)	全铜 Total Cu/ (mg·kg ⁻¹)	全锌 Total Zn/ (mg·kg ⁻¹)	全硼 Total B/ (mg·kg ⁻¹)
平均值 Mean	9.98	1.69	9.73	2 909.67	1 021.59	28.36	11.12	2.75	4.14	19.11
最小值 Min	7.72	0.88	5.76	1 432.23	685.20	10.95	1.56	0.50	0.68	10.60
最大值 Max	14.17	10.40	13.69	5 096.58	1 516.09	88.23	75.00	20.67	13.67	30.00
标准差 STD	1.18	1.26	1.56	866.77	162.62	15.05	10.47	2.58	2.69	4.51
变异系数 CV	11.83	74.72	16.05	29.79	15.92	53.07	94.09	93.55	64.89	23.62

是湖南省柑橘果实品质差别较大的原因。

2.3 柑橘园果实矿质养分含量与土壤养分含量关系

2.3.1 果实矿质养分含量与土壤养分相关性分析
柑橘果实的养分含量与土壤中的养分含量密切相关。从表3可知,果实全钾、全钙和全铁与土壤pH呈正相关,其余的果实矿质养分与土壤pH均呈负相关;果实全氮、全磷和全钙与有机质含量呈负相关,

其余养分与有机质含量均呈正相关。差异性显著的有土壤pH与果实时全钙(0.38**),有机质与果实时全锌(0.38*),速效钾与果实时全钾(0.35**)和全钙(-0.34**),交换钙与果实时全钙(0.47**)、全镁(-0.26*)和全锰(-0.31*),交换镁与果实时全硼(-0.33*),有效锰与果实时全锰(0.72**),有效铜与果实时全锰(0.31*)和全硼(0.30*),有效硼与果实时全钾(0.33*),全钙(-0.26*),全锰(0.29*)和全硼(0.29*)。

表3 果实矿质营养与土壤养分相关性

Table 3 Correlation coefficient between fruit mineral nutrients and soil nutrients

土壤养分 Soil nutrients	果实矿质营养 Fruit mineral nutrients									
	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	全钙 Total Ca	全镁 Total Mg	全铁 Total Fe	全锰 Total Mn	全铜 Total Cu	全锌 Total Zn	全硼 Total B
pH	-0.02	-0.02	0.07	0.38**	-0.11	0.05	-0.24	-0.12	-0.24	-0.11
有机质 OM	-0.14	-0.11	0.04	-0.23	0.05	0.08	0.26	0.16	0.38*	0.13
碱解氮 Alkaline N	-0.07	0.06	0.24	-0.14	0.01	-0.04	0.00	0.04	0.06	-0.17
有效磷 Avail P	-0.05	0.09	-0.15	0.09	-0.05	-0.05	0.04	-0.13	0.08	-0.12
速效钾 Avail K	0.24	0.10	0.35**	-0.34**	-0.12	-0.03	0.06	0.00	0.06	-0.08
交换钙 Avail Ca	-0.03	-0.02	-0.09	0.47**	-0.26*	-0.01	-0.31*	-0.22	-0.21	-0.15
交换镁 Avail Mg	0.12	-0.03	0.07	0.17	0.05	-0.01	-0.19	-0.16	-0.18	-0.33*
有效铁 Avail Fe	0.02	0.01	-0.22	0.13	-0.02	0.12	0.05	-0.14	-0.15	-0.16
有效锰 Avail Mn	0.09	0.01	-0.01	-0.08	0.00	-0.03	0.72**	0.05	-0.13	0.23
有效铜 Avail Cu	0.03	-0.07	0.04	-0.08	-0.11	-0.13	0.31*	0.17	0.03	0.30*
有效锌 Avail Zn	0.15	0.09	0.03	-0.21	-0.14	-0.04	0.25	0.08	0.09	0.15
有效硼 Avail B	0.06	0.01	0.33*	-0.26*	-0.10	-0.08	0.29*	0.11	0.15	0.29*

注:n=84,**表示分别在p<0.01和p<0.05显著水平差异,皮尔逊相关分析。下同。

Note: n=84, ** or * stand for the significant difference at p < 0.01 or p < 0.05 by Pearson Correlation analysis. The same below.

2.3.2 土壤养分含量对果实矿质养分含量影响因子筛选 为进一步清晰柑橘园土壤养分含量与果实矿质养分含量之间的实际关系,采用多元统计典型相关分析方法分析两组变量:土壤养分指标 U 由土壤 pH(X_1)、有机质(X_2)、碱解氮(X_3)、有效磷(X_4)、速效钾(X_5)、交换钙(X_6)、交换镁(X_7)、有效铁(X_8)、有效锰(X_9)、有效铜(X_{10})、有效锌(X_{11})和有效硼(X_{12})组成,果实养分指标 V 由全氮(Y_1)、全磷(Y_2)、全钾(Y_3)、全钙(Y_4)、全镁(Y_5)、全铁(Y_6)、全锰(Y_7)、全铜(Y_8)、全锌(Y_9)和全硼(Y_{10})组成。

(1) SPSS 典型相关分析 Syntax Editor 宏命令语句。

```
INCLUDE'D:SPSS\Statistics \Canonical correlation.sps'.
```

CANCORR Set₁= $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11}$
 X_{12} 第一组变量

/Set₂= $Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6 Y_7 Y_8 Y_9 Y_{10}$. 第二组变量

(2) 土壤养分与果实矿质养分含量的典型相关分析。

根据典型相关系数显著性检验结果,当 $sig < 0.01$ 时,能够充分地解释土壤养分因子和果实养分

因子两组变量显著性差异而具有统计学意义,其线性组合函数如下:

$$U_i = 0.53X_1 + 0.18X_2 + 0.20X_3 + 0.40X_4 - 0.28X_5 - 0.09X_6 - 0.34X_7 + 0.03X_8 + 1.22X_9 - 0.31X_{10} + 0.01X_{11} - 0.08X_{12}$$

$$V_i = 0.06Y_1 - 0.09Y_2 + 0.25Y_3 + 0.48Y_4 - 0.44Y_5 + 0.16Y_6 + 1.16Y_7 + 0.03Y_8 - 0.13Y_9 - 0.05Y_{10}$$

从函数线性组合可知,土壤中某种养分含量不但对植株吸收该种养分产生直接的影响,同时还会影晌到植物对其他养分的吸收,从而显示出土壤中养分与果实中养分元素间关系的复杂性^[11]。从图3可知,湖南省土壤养分含量与果实养分含量之间存在 90.59% 的相关性,一般认为维度系数大于 0.3,则相关关系表现显著^[12]。土壤养分 U 与 X_1 (pH 值)、 X_4 (有效磷)、 X_7 (交换镁)、 X_9 (有效锰)和 X_{10} (有效锌)的相关性较高,相关系数分别为 0.53、0.40、-0.34、1.22 和 -0.31。所以 U 可以理解为描述了土壤 pH 值、有效磷、交换镁、有效锰和有效锌含量的综合性状,即土壤 pH 值、有效磷和有效锰含量的提高,土壤交换性镁和有效锌含量的降低,土壤养分 U 呈增加趋势。果实养分 V 与 Y_4 (全钙)、 Y_5 (全镁)和 Y_7 (全锰),相关系数分别为 0.48、-0.44 和 1.16。因此 V 可以理

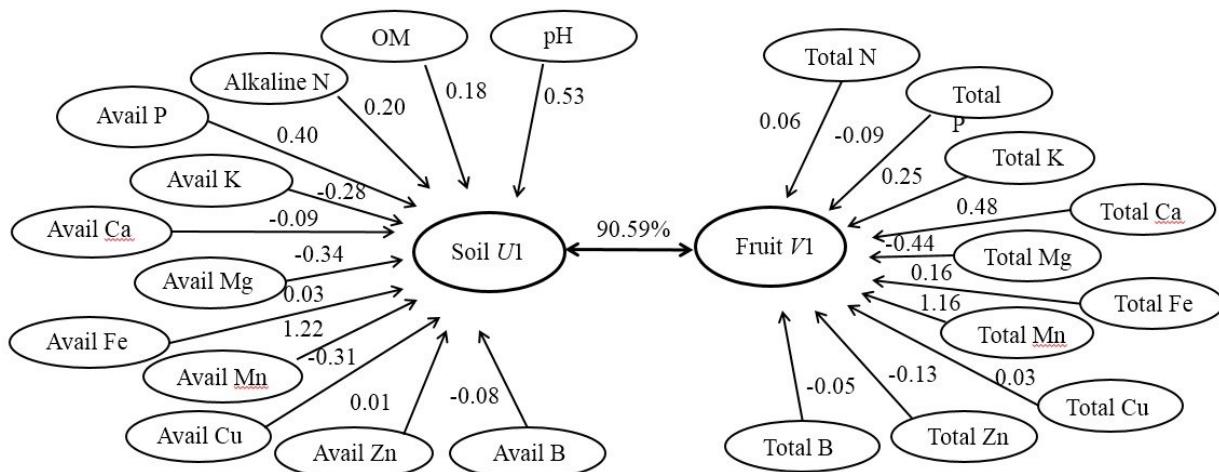


图 3 土壤养分与果实养分含量相关系数结构

Fig. 3 Correlation coefficient structure diagram between soil nutrient and fruit nutrients content

解为描述了果实全钙、全镁和全锰含量的综合性状,即果实全钙和全锰含量的提高,全镁含量的降低,果实养分 V 呈增加的趋势。这一线性组合说明土壤 pH 值、有效磷、有效锰、交换性镁和有效锌与果实全钙、全锰和全镁含量关系密切。在一定范围内,土壤 pH 值、有效磷和有效锰含量的提高,以及土壤交

换性镁和有效锌含量的降低将会导致果实全钙和全锰含量呈增加趋势,全镁含量呈降低的趋势。

2.3.3 土壤养分与果实矿质养分含量的回归方程建立 根据变量间典型相关系数的大小,结合专业知识与统计分析的特点,筛选影响湖南省柑橘果实矿质元素含量的土壤养分因子,并建立土壤养分与果

实矿质养分元素含量的最优回归方程。从表4可以看出,建立的回归方程F值均达到显著性水平,依据多元线性逐步回归方程筛选的影响果实矿质元素含量的土壤养分因子与单因素筛选出来的土壤养分因子存在较大差异,表明了果实矿质元素受多种土壤养分因子的影响,仅用简单相关性分析不能客观全面反映因变量间复杂关系。比如,从回归方程的系数看出,果实中的全氮和全磷含量与土壤中有机质

含量呈负相关,与有效锌含量呈正相关;影响果实全锰含量的土壤因子包括有机质、交换性钙、有效锰和有效锌含量;土壤中有效硼含量对果实全硼含量影响最大,土壤碱解氮、有效磷和交换性镁含量也有重要影响。果实养分是果实品质的决定因子,因此进行柑橘园土壤改良时,应根据果实需肥特性选取养分配比合适的肥料品种,保证养分的最大吸收率,而不是盲目的只施用某一种单质肥。

表4 果实矿质养分与土壤养分多元线性逐步回归方程

Table 4 Multiple linear stepwise regression equation of fruit mineral nutrients and soil nutrients

果实矿质营养 Fruit mineral nutrients	回归方程 Regression equations	方程F值 F value of equations
Y_1 全氮 Total N	$Y_1=10.630-0.048X_2+0.116X_{11}$	3.369*
Y_2 全磷 Total P	$Y_2=2.223-0.037X_2+0.082X_{11}$	3.089*
Y_3 全钾 Total K	$Y_3=5.260+0.905X_1+0.007X_5-0.001X_6-0.009X_9-0.172X_{11}+4.017X_{12}$	5.177**
Y_4 全钙 Total Ca	$Y_4=2.842.342+11.056X_4-3.328X_5+0.326X_6+4.923X_9-1.335.695X_{12}$	9.732**
Y_5 全镁 Total Mg	$Y_5=1.025.930-0.047X_6+0.450X_7$	4.131*
Y_6 全铁 Total Fe	$Y_6=24.629+0.264X_2-1.006X_{10}$	3.866*
Y_7 全锰 Total Mn	$Y_7=0.199+0.293X_2-0.002X_6+0.162X_9$	26.63**
Y_8 全铜 Total Cu	$Y_8=3.366-0.001X_6$	3.954*
Y_9 全锌 Total Zn	$Y_9=6.169-0.781X_1+0.104X_2-0.008X_8$	3.898*
Y_{10} 全硼 Total B	$Y_{10}=59.612-0.478X_3-0.016X_7-0.016X_8+0.430X_{10}+6.125X_{12}$	5.972**

注: $X_1 \sim X_{12}$, pH, 有机质, 碱解氮, 有效磷, 速效钾, 交换性钙, 交换性镁, 有效铁, 有效锰, 有效铜, 有效锌, 有效硼。

Note: $X_1 \sim X_{12}$, pH, OM, alkaline N, avail P, avail K, avail Ca, avail Mg, avail Fe, avail Mn, avail Cu, avail Zn, avail B.

2.4 果园土壤养分含量优化方案

为进一步探讨果实矿质元素最佳的土壤养分含量适宜范围,以果实某一矿质养分含量最大值(Y_{\max})为目标函数(M),果实其余矿质养分与土壤养分、pH为约束条件(N),建立线性规划方程组。比如,以果实全氮含量最大($Y_{\max 1}$)为目标函数(M),果实全磷(Y_2)、全钾(Y_3)、全钙(Y_4)、全镁(Y_5)、全铁(Y_6)、全锰(Y_7)、全铜(Y_8)、全锌(Y_9)、全硼(Y_{10})和土壤pH(X_1),有机质(X_2),碱解氮(X_3),有效磷(X_4),速效钾(X_5),交换钙(X_6),交换镁(X_7),有效铁(X_8),有效锰(X_9),有效铜(X_{10}),有效锌(X_{11}),有效硼(X_{12})为约束条件(N)。果实矿质养分约束值为湖南省柑橘园果实养分含量范围,土壤养分、pH约束值参考柑橘土壤养分适宜标准。从而建立了求解果实全氮最大含量的线性规划方程组:

$$\begin{aligned} Y_{\max 1} &= 10.630-0.048X_2+0.116X_{11}; \\ 0.88 &\leq 2.223-0.037X_2+0.082X_{11} \leq 10.40; \\ 5.76 &\leq 5.260+0.905X_1+0.007X_5-0.001X_6-0.009X_9- \\ &0.172X_{11}+4.017X_{12} \leq 13.69; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.432.23 &\leq 2.842.342 + 11.056X_4 - 3.328X_5 + \\ &0.326X_6 + 4.923X_9 - 1.335.695X_{12} \leq 5.096.58; \\ 685.20 &\leq 1.025.930-0.047X_6+0.450X_7 \leq 1.516.09; \\ 10.95 &\leq 24.629+0.264X_2-1.006X_{10} \leq 88.23; \\ 1.56 &\leq 0.199+0.293X_2-0.002X_6+0.162X_9 \leq 75.00; \\ 0.50 &\leq 3.366-0.001X_6 \leq 20.67; \\ 0.68 &\leq 6.169-0.781X_1+0.104X_2-0.008X_8 \leq 13.67; \\ 10.60 &\leq 59.612-0.478X_3-0.016X_7-0.016X_8+ \\ &0.430X_{10}+6.125X_{12} \leq 30.00; \\ 5.5 &\leq X_1 \leq 6.5; 15 \leq X_2 \leq 30; 80 \leq X_3 \leq 150; 15 \leq X_4 \leq \\ &80; 100 \leq X_5 \leq 200; 1000 \leq X_6 \leq 2000; 150 \leq X_7 \leq 300; \\ 10 &\leq X_8 \leq 20; 5 \leq X_9 \leq 20; 0.5 \leq X_{10} \leq 1.0; 1.0 \leq X_{11} \leq 5.0; \\ 0.5 &\leq X_{12} \leq 1.0; \end{aligned}$$

应用相同的方法,可建立求解果实全磷最大值 $Y_{\max 2}$ 、全钾最大值 $Y_{\max 3}$ 、全钙最大值 $Y_{\max 4}$ 、全镁最大值 $Y_{\max 5}$ 、全铁最大值 $Y_{\max 6}$ 、全锰最大值 $Y_{\max 7}$ 、全铜最大值 $Y_{\max 8}$ 、全锌最大值 $Y_{\max 9}$ 、全硼最大值 $Y_{\max 10}$ 的线性规划方程。通过求解计算,获得了生产柑橘土壤养分因子的最适范围。从表5可知,当柑橘园土壤酸碱度

表5 果实矿质元素含量最佳的土壤养分含量和pH

Table 5 The ranges of soil nutrient elements and pH for optimal mineral nutrition contents in fruit

土壤养分因子 Soil nutrient factors(Xn)	Y_1 全氮 Total N/ (g·kg ⁻¹)	Y_2 全磷 Total P/ (g·kg ⁻¹)	Y_3 全钾 Total K/ (g·kg ⁻¹)	Y_4 全钙 Total Ca/ (mg·kg ⁻¹)	Y_5 全镁 Total Mg/ (mg·kg ⁻¹)	Y_6 全铁 Total Fe/ (mg·kg ⁻¹)	Y_7 全锰 Total Mn/ (mg·kg ⁻¹)	Y_8 全铜 Total Cu/ (mg·kg ⁻¹)	Y_9 全锌 Total Zn/ (mg·kg ⁻¹)	Y_{10} 全硼 Total B/ (mg·kg ⁻¹)	X最佳区间 Range of optimum value
X_1 pH	5.50	5.50	6.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50-6.50
X_2 有机质 OM/(g·kg ⁻¹)	15.00	15.00	15.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	15-30
X_3 碱解氮 Alkaline N/(mg·kg ⁻¹)	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80
X_4 有效磷 Avail P/(mg·kg ⁻¹)	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80
X_5 速效钾 Avail K/(mg·kg ⁻¹)	100.00	100.00	200.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100-200
X_6 交换钙 Avail Ca/(mg·kg ⁻¹)	1 000.00	1 000.00	1 000.00	2 000.00	1 000.00	2 000.00	1 000.00	1 000.00	2 000.00	2 000.00	1 000-2 000
X_7 交换镁 Avail Mg/(mg·kg ⁻¹)	150.00	150.00	150.00	150.00	300.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150-300
X_8 有效铁 Avail Fe/(mg·kg ⁻¹)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10
X_9 有效锰 Avail Mn/(mg·kg ⁻¹)	20.00	20.00	5.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	5-20
X_{10} 有效铜 Avail Cu/(mg·kg ⁻¹)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50-1.00
X_{11} 有效锌 Avail Zn/(mg·kg ⁻¹)	5.00	5.00	1.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	1.00-5.00
X_{12} 有效硼 Avail B/(mg·kg ⁻¹)	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50-1.00	
Ymax 果实矿质营养 Fruit mineral nutrients	10.49	2.08	15.34	3 476.64	1 113.93	32.05	10.23	2.37	4.91	25.37	

和养分范围:pH为5.50~6.50,有机质含量为15.00~30.00 g·kg⁻¹,碱解氮大于80.00 mg·kg⁻¹,有效磷大于80.00 mg·kg⁻¹,速效钾为100.0~200.0 mg·kg⁻¹,交换性钙为1 000.00~2 000.00 mg·kg⁻¹,交换性镁为150.00~300.00 mg·kg⁻¹,有效铁大于10.00 mg·kg⁻¹,有效锰为5.00~20.00 mg·kg⁻¹,有效锌为1.00~5.00 mg·kg⁻¹,有效铜和有效硼为0.50~1.00 mg·kg⁻¹时,柑橘果实中全氮、全磷、全钾含量可达到10.49、2.08、15.34 g·kg⁻¹,全钙、全镁、全铁、全锰、全铜、全锌和全硼含量可达到3476.64、1113.93、32.05、10.23、2.37、4.91、25.37 mg·kg⁻¹。

同时,为了更好地指导果园土壤管理,把理论计算的土壤营养优化范围值与调查的柑橘园土壤营养实测值进行比较发现(表6)。大多数果园土壤酸碱度不适宜,酸性土壤比例占调查果园总数的85.94%,柑橘园土壤有机质含量在15.00~30.00 g·kg⁻¹之间的样点比例达到76.56%,碱解氮含量大于80.00 mg·kg⁻¹的占60.94%,有效磷含量大于15.00 mg·kg⁻¹的占53.12%,速效钾含量大于100.00 mg·kg⁻¹

的占73.44%,43.75%的果园缺钙,56.25%的果园缺镁,其中大部分果园土壤铁、锰、铜和锌含量在适宜范围,而超过85.94%的果园土壤缺硼。因此,果园管理的重点是提高土壤pH值,加强土壤中有效钙、镁和硼元素的养分管理。

3 讨 论

在柑橘品质改良和提质增效过程中,果实矿质养分和果园土壤养分诊断分析及其优化方案是重要的研究课题。果园土壤分析可以说明土壤养分的可利用性,果实矿质养分分析则反映树体在生长过程中营养状态及养分分配特点,施肥方案的优化可以减少肥料浪费、保护生态环境^[13]。

湖南省超过85.94%的样点果园土壤pH≤5.5处于酸性至强酸性环境,这可能是柑橘栽培过程中长期施化肥所导致,而一般认为适宜柑橘栽培的土壤pH值为5.5~6.5^[3]。合理施用石灰能够调节土壤酸碱性改善果实品质,张影等^[14]研究发现,酸性土壤施用石灰可以显著提升果树营养成分吸收,降低果实

表 6 果园土壤 pH、养分含量优化值与实测值比较
Table 6 Comparison between optimized soil nutrients and the measured

土壤养分因子(X_n) Soil nutrient factors	营养界限 Limit of nutrients	果园比例 Proportion of orchard/%	土壤养分因子(X_n) Soil nutrient factors	营养界限 Limit of nutrients	果园比例 Proportion of orchard/%
X_1 pH	≤ 5.50	85.94	X_7 交换镁 Avail Mg/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 150.00	56.25
	5.50-6.50	10.94		150.00-300.00	32.81
	≥ 6.50	3.13		≥ 300.00	10.94
X_2 有机质 OM/ (g·kg ⁻¹)	≤ 15.00	14.06	X_8 有效铁 Avail Fe/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 10.00	3.13
	15.00-30.00	76.56		10.00-20.00	9.38
	≥ 30.00	9.38		≥ 20.00	87.50
X_3 碱解氮 Alkaline N/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 80.00	39.06	X_9 有效锰 Avail Mn/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 5.00	1.56
	80.00-150.00	60.94		5.00-20.00	32.81
	≥ 150.00	0.00		≥ 20.00	65.63
X_4 有效磷 Avail P/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 15.00	46.88	X_{10} 有效铜 Avail Cu/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 0.50	14.06
	15.00-80.00	51.56		0.50-1.00	21.88
	≥ 80.00	1.56		≥ 1.00	64.06
X_5 速效钾 Avail K/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 100.00	26.56	X_{11} 有效锌 Avail Zn/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 1.00	10.94
	100.00-200.00	45.31		1.00-5.00	76.56
	≥ 200.00	28.13		≥ 5.00	12.50
X_6 交换钙 Avail Ca/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 1 000.00	43.75	X_{12} 有效硼 Avail B/ (mg·kg ⁻¹)	≤ 0.50	85.94
	1 000.00-2 000.00	31.25		0.50-1.00	14.06
	≥ 2 000.00	25.00		≥ 1.00	0.00

酸度,提高果实固酸比。土壤有机质是土壤肥力的物质基础^[15-17],国外丰产园甚至高达 20~60 g·kg⁻¹^[18],湖南柑橘园土壤有机质的整体较好,其中 76.56% 的样点柑橘园土壤有机质含量处于 15~30 g·kg⁻¹ 适宜水平。*Pearson* 相关分析研究表明,果实全钾、全钙和全铁含量与土壤 pH 呈正相关,其余的果实矿质养分与土壤 pH 均呈负相关;果实全氮、全磷和全钙含量与土壤有机质含量呈负相关,其余养分与土壤有机质含量均呈正相关。

本研究发现,土壤酸化造成果园土壤养分关系复杂,84 个样点果园碱解氮、有效磷和速效钾的平均含量适宜,适宜比例分别为 60.94%、51.56% 和 45.31%,这与多年来增施 15-15-15 和 17-17-17 的复合肥有关。酸性土壤中发生缺钙、缺镁现象较为普遍,当土壤 pH 下降时土壤中正电荷增加,对钙和镁等养分离子的吸附量显著减少^[19-20],本文测定分析样点果园交换钙和镁低量水平比例占 43.75% 和 56.25%。其中大部分果园土壤铁、锰、铜和锌元素含量处于过量水平,调研发现柑橘病虫害防治时农民大量使用铜制剂、波尔多液和代森锰锌等杀菌剂。湖南柑橘土壤有效硼含量缺乏现象严重,柑橘园土壤缺硼比例高达 85.94%,这与果农习惯进行叶面喷施硼肥的施

肥方式有关。鉴于湖南省柑橘园土壤养分障碍因子普遍存在的现象,在柑橘园养分管理时应根据养分缺乏实际情况差别化对待,而不是孤立的只施用某一种单质肥。

果园土壤养分状况直接影响柑橘果品质,本研究认为简单的皮尔逊相关分析无法揭示土壤养分与果实矿质元素间复杂关系,作者应用多元统计方法典型相关分析研究果园土壤养分与果实矿质养分两个不同正态总体间的关系,结果计算两者之间存在 90.59% 的相关性,表明土壤养分和 pH 对果实矿质元素含量具有重要影响,尤其土壤 pH 值、有效磷、有效锰、交换镁和有效锌含量与果实全钙、全锰和全镁含量关系密切。张强等^[21]应用典型相关分析研究了北京昌平苹果园土壤养分与果实矿质营养的关系,揭示了影响不同果实矿质元素的土壤养分因子;刘科鹏等^[22]应用典型相关分析研究了猕猴桃果园土壤养分、pH 与果品质的关系,筛选了影响‘金魁’猕猴桃果品质的土壤营养因子。本研究依据前人的经验根据典型相关系数大小,应用逐步回归法筛选出影响柑橘果品质全氮、全磷、全钾、全钙、全镁、全铁、全锰、全铜、全锌和全硼矿质元素的主要土壤因子,通过线性规划法建立了土壤养分最优方案,把理论计算的土壤营养优化范围值与调

查的柑橘园土壤营养实测值进行比较反映其丰缺状况而指导施肥,关于柑橘园果实矿质养分与土壤养分、pH因子的最优方案研究在国内外尚未见报道。

4 结 论

湖南省柑橘示范园土壤普遍显酸性,交换钙、交换镁和有效硼含量严重不足,多数果园土壤有机质、有效氮、磷和钾含量适中,部分柑橘园土壤有效铁、锰、铜和锌含量较高,整体上湖南省柑橘园土壤养分肥力偏低且分布不平衡。果实矿质养分含量受不同土壤养分含量的共同影响,其中土壤pH值、有机质、有效磷、交换钙、交换镁、有效锌和有效硼含量对果实矿质养分影响较大。

线性规划求解出果园养分优化方案:果园土壤pH为5.50~6.50,有机质含量为15.00~30.00 g·kg⁻¹,碱解氮大于80.00 mg·kg⁻¹,有效磷大于80.00 mg·kg⁻¹,速效钾为100.0~200.0 mg·kg⁻¹,交换性钙为1 000.00~2 000.00 mg·kg⁻¹,交换性镁为150.00~300.00 mg·kg⁻¹,有效铁大于10.00 mg·kg⁻¹,有效锰为5.00~20.00 mg·kg⁻¹,有效锌为1.00~5.00 mg·kg⁻¹,有效铜和有效硼为0.50~1.00 mg·kg⁻¹时,柑橘果实中全氮、全磷、全钾含量可达到10.49、2.08、15.34 g·kg⁻¹,全钙、全镁、全铁、全锰、全铜、全锌和全硼含量可达到3476.64、1113.93、32.05、10.23、2.37、4.91、25.37 mg·kg⁻¹。调节土壤酸碱性,增施有机肥和中微量元素肥料,改善土壤理化性质是今后湖南省柑橘园土壤培肥管理的重点。

参考文献 References:

- [1] 鲍江峰,夏仁学,彭抒昂,李国怀.湖北省纽荷尔脐橙园土壤营养状况及其对果实品质的影响[J].土壤,2006,38(1):75-80.
BAO Jiangfeng, XIA Renxue, PENG Shuang, LI Guohuai. Main soil nutrient status of newhall orchards of Hubei province and its effect on fruit quality of newhall orange[J]. Soil, 2006, 38 (1):75-80.
- [2] 淳长品,彭良志,江才伦,曹立,雷霆,王雪生,唐海涛.三峡库区部分柑桔园土壤营养状况的初步研究[J].中国南方果树,2009,38(2):1-6.
CHUN Changpin, PENG Liangzhi, JIANG Cailun, CAO Li, LEI Ting, WANG Xuesheng, TANG Haitao. Preliminary study on soil nutrient status of some citrus orchards in Three Gorges Reservoir district[J]. South China Fruits, 2009, 38(2):1-6.
- [3] 鲁剑巍.湖北省柑橘园土壤—植物养分状况与柑橘平衡施肥技术研究[D].武汉:华中农业大学,2003.
LU Jianwei. Study on soil and plant nutrition status and balanced fertilization techniques of the citrus orchards in Hubei[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003.
- [4] ZHOU G F, PENG S A, LIU Y Z, WEI Q J, HAN J. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency [J]. Trees, 2014, 28(1):295-307.
- [5] 张强,魏钦平,刘旭东,刘惠平,蒋瑞山,王小伟.北京昌平苹果园土壤养分、pH与果实矿质营养的多元分析[J].果树学报,2011,28(3):377-383.
ZHANG Qiang, WEI Qinping, LIU Xudong, LIU Huiping, JIANG Ruishan, WANG Xiaowei. Multivariate analysis of relationship between soil nutrients, pH and fruit mineral nutrition in Fuji apple orchards of Changping, Beijing [J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(3):377-383.
- [6] FALLAHI E, FALLAHI B, NEILSEN G H, NEILSEN D, PER-YEA FJ. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples [J]. Acta Horticulturae, 2010, 868 (868):49-60.
- [7] LI Y, HAN M Q, LIN F, TEN Y, LIN J, ZHU D H, GUO P, WENG Y B, CHEN L S. Soil chemical properties, 'Guanximiyou' pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian province, China [J]. Journal of Soil Science & Plant Nutrition, 2015, 15(ahead):263-269.
- [8] 邓小华,张瑶,田峰,张黎明,蔡云帆,田明慧,张明发.湘西植烟土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J].土壤,2017,49 (1):49-56.
DENG Xiaohua, ZHANG Yao, TIAN Feng, ZHANG Liming, CAI Yunfan, TIAN Minghui, ZHANG Mingfa. pH and main nutrients of tobacco growing soils and their relations in Western Hunan[J]. Soil, 2017, 49(1):49-56.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
BAO Shidan. Analysis of soil aggregation[M]. 3rd ed. Beijing: ChinaAgricultural Press, 2000.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
LU Rukun. Agricultural chemical analysis of soil[M]. Beijing: ChinaAgricultural Press, 2000.
- [11] 谢志南,庄伊美,王仁玑,许文宝.福建亚热带果园土壤pH值与有效态养分含量的相关性[J].园艺学报,1997(3):209-214.
XIE Zhinan, ZHUANG Yimei, WANG Renji, XU Wenbao. Correlation between soil pH and the contents of available nutrients in selected soils from three kinds of orchards at subtropical zone in Fujian. [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997(3): 209-214.
- [12] 唐守正.多元统计分析方法[M].北京:中国林业出版社,1986.
TANG Shouzheng. Multivariate statistical analysis method[M]. Beijing: China Forestry Press, 1986.

- [13] 马小川,卢晓鹏,张子木,熊江,潘斌,刘恋,李泽航,唐超兰,谢深喜.湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤和叶片营养及果实品质分析[J].果树学报,2018,35(4): 423-432.
MA Xiaochuan, LU Xiaopeng, ZHANG Zimu, XIONG Jiang, PAN Bin, LIU Lian, LI Zehang, TANG Chaolan, XIE Shenxi. Analyses of the soil and tree nutrition and fruit quality of Satsuma man-darin in orchards at different latitudes in Hunan province[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(4): 423-432.
- [14] 张影,胡承孝,谭启玲,胡世全,郑苍松,曾伟男,贵会平.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[J].华中农业大学学报,2014,33(4):72-76.
ZHANG Ying, HU Chengxiao, TAN Qiling, HU Shiquan, ZHENG Cangsong, ZENG Weinan, GUI Huiping. Effects of liming on nutrition status, quality of satsuma mandarin and acid soil nutrients availability of citrus orchard[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(4):72-76.
- [15] 郭振,王小利,段建军,焦克强,孙沙沙,段英华,张雅蓉,李渝,蒋太明.长期施肥对黄壤性水稻土有机碳矿化的影响[J].土壤学报,2018,55(1):225-235.
GUO Zhen, WANG Xiaoli, DUAN Jianjun, JIAO Keqiang, SUN Shasha, DUAN Yinghua, ZHANG Yarong, LI Yu, JIANG Taiming. Long-term fertilization and mineralization of soil organic carbon in paddy soil from yellow earth[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(1):225-235.
- [16] 董坤.不同施肥模式对蔬菜地中氮素流失影响研究[D].成都:西南交通大学,2017.
DONG Kun. Effects of different fertilizer modes on nitrogen loss in vegetable field[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [17] 代文才,钱盛,高明,王子芳,吕盛,高莅淞.施用生物质灰渣对柑橘园土壤团聚体及有机碳分布的影响[J].水土保持学报,2016,30(2):260-265.
DAI Wencai, QIAN Sheng, GAO Ming, WANG Zifang, LU Sheng, GAO Lisong. Effects of biomass ash application on soil aggregate and organic carbon distribution of citrus orchard soils [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(2):260-265.
- 265.
- [18] 苏婷婷,周鑫斌,徐墨赤,吴桃红,高阿祥,石孝均.重庆市柑橘园土壤养分现状研究[J].土壤,2017,49(5):897-902.
SU Tingting, ZHOU Xinbin, XU Mochi, WU Taohong, GAO Axiang, SHI Xiaojun. Study on nutrient status of citrus orchard soil in Chongqing[J]. Soil, 2017, 49(5):897-902.
- [19] 李华东,白亭玉,郑妍,张贺,林电.土壤施钙对芒果果实钾、钙、镁含量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2014(6):76-80.
LI Huadong, BAI Tingyu, ZHENG Yan, ZHANG He, LIN Dian. Effects of different lime nitrate application rates on potassium, calcium and magnesium content and quality in mango[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014(6):76-80.
- [20] 黄春辉,曲雪艳,刘科鹏,冷建华,涂贵庆,李帮明,徐小彪.'金魁'猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J].果树学报,2014,31(6):1091-1099.
HUANG Chunhui, QU Xueyan, LIU Kepeng, LENG Jianhua, TU Guiqing, LI Bangming, XU Xiaobiao. Analysis of soil physicochemical properties, leaf nutrients and fruit qualities in the orchards of 'Jinkui' kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(6):1091-1099.
- [21] 张强,魏钦平,蒋瑞山,刘旭东,刘惠平,王小伟.北京苹果主产区果园土壤理化性状和果实品质评价分析[J].园艺学报,2011,38(11):2180-2186.
ZHANG Qiang, WEI Qinping, JIANG Ruishan, LIU Xudong, LIU Huijing, WANG Xiaowei. Evaluation and analysis of soil physicochemical characteristics and fruit quality in main apple production regions of Beijing[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(11):2180-2186.
- [22] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,陈葵,严玉平,涂贵庆,李帮明,徐小彪.猕猴桃园土壤养分与果实品质的多元分析[J].果树学报,2012,29(6):1047-1051.
LIU Kepeng, HUANG Chunhui, LENG Jianhua, CHEN Kui, YAN Yuping, TU Guiqing, LI Bangming, XU Xiaobiao. Multivariate analysis between soil nutrients and fruit qualities in kiwi-fruit orchard[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6):1047-1051.