

湖南省柑橘园土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系

曹胜¹, 欧阳梦云², 周卫军^{1*}, 崔浩杰¹, 刘沛¹, 谭洁¹

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

摘要: 探究湖南省柑橘园土壤养分丰缺情况, 为科学施肥管理提供理论依据。采集湖南省 84 个柑橘主产区的土壤样品, 通过测定其 pH、有机质和矿质养分, 运用分组回归方法分析了土壤酸碱性及土壤肥力间相关性, 研究了果园土壤养分的缺素问题。结果表明, 湖南省柑橘园土壤酸化严重, 土壤有机质和碱解氮含量适宜, 三分之一果园土壤有效磷、速效钾含量偏低, 交换性钙和交换性镁缺乏比例分别为 43.75% 和 56.25%, 其中 69.88%、87.50%、65.63% 和 64.06% 样品的土壤有效硫、铁、锰和铜过量, 76.56% 样品的土壤有效锌含量适宜, 而 85.94% 样品的有效硼含量缺乏。土壤 pH 值与有效态养分含量关系复杂, *Pearson* 相关分析发现, 柑橘园土壤 pH 值与交换性钙、交换性镁含量间呈极显著正相关, 而与有机质、有效磷和有效硫含量呈极显著负相关, 与有效铁含量呈显著负相关。各养分含量在不同土壤 pH 组间存在极显著差异, 曲线回归方程求解出柑橘园土壤 pH 值在 5.6 ~ 6.3 时, 土壤中矿质养分含量较高。调节土壤 pH 值, 控制氮、磷、钾肥的施用量, 补施钙、镁和硼肥是今后果园土壤管理的关键。

关键词: 湖南省; 柑橘园; pH; 土壤养分; 相关性; 回归分析

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 hm^2 , 年产量在 517 万 t 以上。虽然柑橘经济效益突出, 但果园土壤面临土壤肥力退化, 果实品质下降的问题。大量研究表明柑橘园土壤营养状况对柑橘优质生产有着重要的影响, 鲍江峰等^[1]的研究表明, 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 值、碱解氮和速效钾含量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^[3]和 Zhou 等^[4]研究表明, 多数果园土壤大量元素的有效态养分含量处于缺乏范围, 土壤 pH 值与有机质含量对果实营养元素含量影响显著; 同时由于气候、土壤条件等差异, 柑橘园土壤养分存在地域性差别。如重庆柑橘园土壤碱解氮、有效磷和有效硼含量缺乏最为严重^[5], 湖北柑橘园土壤主要有机质、有效锌和有效硼含量普遍偏低^[6], 广西柑橘园土壤钙、铜、锌、硼含量明显不足^[7]。

土壤是柑橘生产的基础, 土壤理化性质影响土

壤保肥和供肥能力, 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^[8-11]。近年来, 针对旱地果园土壤养分特征的研究已有相关报道, 温明霞等^[12]调查了浙江省柑橘主产区土壤养分现状; 程琛等^[13]分析了福建蜜柚园土壤 Cu 含量状况及其影响因素; 马小川等^[14]研究了湖南省温州蜜柑园土壤营养状况及其对果实品质的影响。前人的研究仅局限于简单的土壤养分状态的评价或者单个土壤养分指标的分析, 而关于湖南省柑橘园土壤 pH 与诸多养分特征及其相互关系的系统研究尚鲜见报道。为了科学地指导湖南省柑橘园土壤培肥管理, 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 pH 和主要养分含量进行了采样分析, 研究了果园土壤养分丰缺状况和养分限制因子, 并就柑橘园土壤 pH 与养分含量相关性进行了探讨, 以期对湖南省柑橘园制定施肥策略提供参考。

1 材料与方法

1.1 土样的采集

2017 年 11 ~ 12 月, 在湖南省柑橘主产区, 包括江永、临武、宜章、永兴、新宁、零陵、冷水滩、黔城、泸溪、麻阳、永顺、洪江、临澧和石门等 14 个县, 选择 84 个典型的柑橘主产区定点调查

收稿日期: 2019-03-21; 录用日期: 2019-04-05

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(1991-), 男, 湖南长沙人, 博士研究生, 主要从事土地/土壤环境过程及模拟研究。E-mail: 1669149416@qq.com。

通讯作者: 周卫军, E-mail: wjzh0108@163.com。

(图 1), 在果实成熟期采样 (按照 S 型), 选取树冠滴水线内侧 10 cm 位置, 避开施肥穴, 采集 5 点以上的 0 ~ 40 cm 土层土壤样品, 混合均匀后, 按四分法分取 1 kg 左右土样, 于室内风干、混匀、磨细、过 2 mm 尼龙筛, 装袋保存备用。

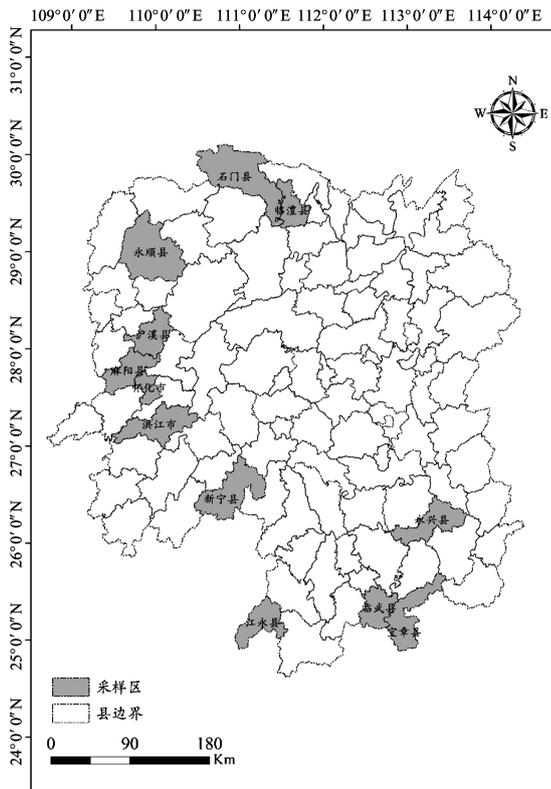


图 1 湖南省柑橘园分布

1.2 测定指标与方法

采用电位法测定土壤的 pH 值, 土水比 1 : 2.5; 重铬酸钾容量法测定土壤的有机质含量; 碱解扩散法测定土壤碱解氮; 氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗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、镁; DTPA 浸提法-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中的铁、锰、铜、锌含量; 沸水浸提后用 EDTA-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤有效硼; 土壤有效硫含量用 BaSO₄ 比浊法测定^[15-16]。

1.3 土壤 pH 和养分的分级指标

柑橘园土壤 pH 分级标准^[17]: pH ≤ 4.5 为强酸性, 4.5 ~ 5.5 为酸性, 5.5 ~ 6.5 为弱酸性, 6.5 ~ 7.5 为中性, 7.5 ~ 8.5 为碱性, > 8.5 为强碱性。柑橘适宜微酸性土壤, pH 过高或者过低均不适合柑橘果树的生长, 最为适宜的 pH 值为 5.5 ~ 6.5^[3]。

柑橘园土壤有机质分级标准^[3]: 有机质含量 ≤ 5 g/kg 为极其缺乏, 5 ~ 10 g/kg 为缺乏, 10 ~ 15 g/kg 为偏低水平, 15 ~ 30 g/kg 为适宜含量, > 30 g/kg 为高量水平。柑橘生长发育要求土壤有机质最适宜范围为 15 ~ 30 g/kg。其他速效养分参照庄伊美^[18]、鲁剑巍^[3]对柑橘生长适应性研究划分的土壤养分分级标准见表 1。

表 1 柑橘园土壤养分含量分级标准

有效养分	(mg/kg)				
	极低	低量	适量	高量	过量
碱解氮	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	—
有效磷	<5	5 ~ 15	15 ~ 80	>80	—
速效钾	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	—
交换性钙	<200	200 ~ 1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	>3 000
交换性镁	<80	80 ~ 150	150 ~ 300	300 ~ 500	>500
有效铁	<5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效锰	<2	2 ~ 5	5 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效铜	<0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0
有效锌	<0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0	>10.0
有效硼	<0.25	0.25 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0
有效硫	<12	12 ~ 24	24 ~ 40	>40	—

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理, 用 SPSS 20.0 软件统计分析, Origin 2017 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 柑橘园土壤营养状况分析

2.1.1 柑橘园土壤 pH 值状况

湖南省柑橘园土壤 pH 值的变化幅度为 4.02 ~

7.20, 平均值为 4.58, 变异系数为 17.54%, 总体土壤酸化严重, 强酸和酸性土壤样点比例占调查果园总数的 86.90%, 仅有 9.52% 的果园土壤 pH 在 5.5 ~ 6.5 范围内适宜优质柑橘生产 (表 2)。

表 2 柑橘园土壤 pH 值分布

pH 值	等级	均值 ± 标准差	样品个数	比例 (%)	变异系数 (%)
≤ 4.5	强酸性	4.02 ± 0.33a	44	52.38	8.21
4.5 ~ 5.5	酸性	4.81 ± 0.22ab	29	34.52	4.57
5.5 ~ 6.5	弱酸性	5.87 ± 0.3b	8	9.52	5.11
6.5 ~ 7.5	中性	7.20 ± 0.15c	3	3.57	2.08

注: 表中同列不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平下组间差异显著, Duncan 法多重比较。

2.1.2 柑橘园土壤有机质和养分丰缺状况

湖南省柑橘主产区土壤有机质和养分水平差异较大 (表 3), 土壤有机质含量整体变幅为 10.09 ~ 39.68 g/kg, 76.56% 果园有机质含量均处于适宜范围内。碱解氮是衡量土壤肥力的一个重要指标, 柑橘主产区土壤碱解氮平均值为 164.98 mg/kg, 适宜含量的样点果园比例达到 100.00%; 土壤有效磷平均含量为 24.67 mg/kg, 61.56% 柑橘园适宜柑橘种植, 然而空间分布不均匀, 变异系数较高, 有效磷含量低于 15 mg/kg 的样点果园占总数的 32.88%; 土壤速效钾平均含量为 165.91 mg/kg, 适宜含量的样点果园比例为 45.31%, 其中速效钾含量处于低量水平的样点占 26.56%。

柑橘主产区土壤交换性钙平均含量为 1 592.59 mg/kg, 一般酸性土壤中发生缺钙现象较为普遍,

有效钙含量处于低量水平的样点占 43.75%; 果园土壤交换性镁平均含量为 160.39 mg/kg, 处于低量水平的样点占 56.25%, 空间分布不均匀, 两种养分变异系数高达 70% 以上; 湖南柑橘园土壤有效硫含量富集明显, 平均含量为 62.99 mg/kg, 69.88% 柑橘园土壤样品处于高量水平, 变异系数为 53.98%。

柑橘园土壤有效铁、锰和铜的平均含量分别是 89.07、45.21、1.93 mg/kg, 其中 87.50%、65.63% 和 64.06% 果园表现为过量水平, 各有效养分含量变异较大。土壤有效锌平均含量 3.16 mg/kg, 76.56% 果园表现为适宜水平。但有效硼极其缺乏, 平均含量只有 0.32 mg/kg, 85.94% 样点果园低于适宜含量值。

表 3 湖南省柑橘园土壤有机质和养分状况及丰缺评价

指标	均值 ± 标准差	变异系数 (%)	范围	适宜含量	低量水平 (%)	适宜水平 (%)	高量水平 (%)
有机质 (g/kg)	21.51 ± 6.61	30.75	10.09 ~ 39.68	15 ~ 30	14.06	76.56	9.38
碱解氮 (mg/kg)	164.98 ± 2.97	1.80	153.63 ~ 185.60	100 ~ 200	0.00	100.00	0.00
有效磷 (mg/kg)	24.67 ± 21.05	85.31	2.39 ~ 81.51	15 ~ 80	32.88	61.56	5.56
速效钾 (mg/kg)	165.91 ± 106.48	64.18	41.03 ~ 639.51	100 ~ 200	26.56	45.31	28.13
交换性钙 (mg/kg)	1 592.59 ± 1 461.52	91.77	289.76 ~ 7 369.23	1 000 ~ 2 000	43.75	31.25	25.00
交换性镁 (mg/kg)	160.39 ± 112.27	70.00	36.07 ~ 686.86	150 ~ 300	56.25	32.81	10.94
有效铁 (mg/kg)	89.07 ± 82.57	92.71	7.49 ~ 468.31	10 ~ 20	3.13	9.38	87.50
有效锰 (mg/kg)	45.21 ± 43.34	95.88	4.28 ~ 219.55	5 ~ 20	1.56	32.81	65.63
有效铜 (mg/kg)	1.93 ± 2.37	122.43	0.21 ~ 16.61	0.5 ~ 1.0	14.06	21.88	64.06
有效锌 (mg/kg)	3.16 ± 2.79	88.25	0.56 ~ 14.49	1.0 ~ 5.0	10.94	76.56	12.50
有效硼 (mg/kg)	0.32 ± 0.18	55.30	0.10 ~ 0.90	0.5 ~ 1.0	85.94	14.06	0
有效硫 (mg/kg)	62.99 ± 34.00	53.98	4.68 ~ 157.92	24 ~ 40	15.66	14.46	69.88

2.2 柑橘园土壤有机质、养分含量、pH 间的相关性

湖南省柑橘园土壤 pH 值与有机质、养分间的相关性见表 4, 柑橘园土壤 pH 值与交换性钙 ($r=0.830^{**}$)、交换性镁 ($r=0.623^{**}$) 含量间呈极显著正相关, 与有效铁 ($r=-0.222^*$) 呈显著负相关, 与有效硫 ($r=-0.404^{**}$)、有效磷 ($r=-0.368^{**}$) 和有机质 ($r=-0.308^{**}$) 呈极显著负相关, 这可能是因为土壤有机质分解过程中产生酸性物质降低了土壤 pH 值, 且土壤中有效磷含量过高, 会使土壤 pH 值降低, 常见的磷肥包括磷酸二氢钙、过磷酸钙、磷酸铵、磷酸二氢铵等; 土壤有机质含量与有效磷 ($r=0.458^{**}$)、有效锌 ($r=0.507^{**}$)、有

效硼 ($r=0.499^{**}$)、有效硫 ($r=0.285^{**}$) 含量呈极显著正相关, 与有效铜 ($r=0.228^{**}$) 含量呈显著正相关, 说明增施有机肥能提高果园土壤有效养分含量。此外, 土壤矿质元素间相关系数较大的包括有效磷与有效铁含量 ($r=0.523^{**}$)、速效钾与有效锌含量 ($r=0.518^{**}$)、交换性钙与交换性镁含量 ($r=0.640^{**}$)、有效铜与有效锌含量 ($r=0.509^{**}$)、有效锌与有效硼含量 ($r=0.449^{**}$)、有效硫与有效硼含量 ($r=0.441^{**}$)。土壤养分之间关系比较复杂, 元素之间普遍具有协同和拮抗作用, pH 值过高或过低均会造成营养元素失调, 因此, 改善土壤酸碱度、增施有机肥、平衡施用化肥是果园管理的有效措施。

表 4 柑橘园土壤有机质、有效养分、pH 间的相关关系

	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	有效硫
pH	-0.308**	-0.056	-0.368**	0.086	0.830**	0.623**	-0.222*	0.073	-0.035	-0.133	-0.127	-0.404**
有机质		0.065	0.458**	0.096	-0.118	-0.056	0.105	0.044	0.228*	0.507**	0.499**	0.285**
碱解氮			-0.163	-0.115	-0.061	-0.073	-0.237*	-0.095	0.019	-0.152	0.113	0.239*
有效磷				0.102	-0.141	-0.091	0.523**	-0.122	0.214	0.355**	0.236*	0.306**
速效钾					0.103	0.317**	-0.074	0.377**	0.174	0.518**	0.385**	0.171
交换性钙						0.640**	-0.217*	0.008	-0.069	-0.081	-0.051	-0.392**
交换性镁							-0.196	0.142	-0.028	0.055	0.049	-0.188
有效铁								-0.036	0.121	0.224*	-0.083	0.028
有效锰									0.354**	0.356**	0.378**	0.114
有效铜										0.509**	0.302**	0.378**
有效锌											0.449**	0.259*
有效硼												0.441**

注: n=84, ** 和 * 分别表示在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著, Pearson 相关分析。

2.3 柑橘园土壤 pH 对土壤肥力的影响

土壤酸碱性对土壤肥力的影响, 首先表现在土壤养分的有效性方面, 按照柑橘生长适应性分级标准将土壤 pH 值分成 4 组: ≤ 4.5 强酸性、 $4.5 \sim 5.5$ 酸性、 $5.5 \sim 6.5$ 弱酸性、 $6.5 \sim 7.5$ 中性, 各组平均值分别为 4.01 ± 0.31 、 4.79 ± 0.22 、 5.77 ± 0.16 、 7.25 ± 0.21 。统计土壤 pH 组间各有效养分含量的平均值, 分析土壤 pH 对土壤有效养分含量的影响, 结果表明 (图 2), 湖南省柑橘园土壤有机质、碱解氮和有效磷含量受土壤酸化影响较小, 在 pH 值为 $5.5 \sim 6.5$ 时较高; 土壤速效钾含量则逐渐升高, 至 pH 值 $5.5 \sim 6.5$ 时最高, 之后降低; 土壤交换性钙和交换性镁含量在 $pH \leq 5.5$ 时变化不大, 之后

迅速升高, 而土壤有效铁含量在 $pH \leq 6.5$ 时缓慢下降, 之后快速降低; 土壤 $pH \leq 6.5$ 时, 有效硫含量大幅度下降, 之后逐渐降低; 土壤有效锰和有效铜含量随土壤 pH 值先升高后降低, 峰值出现在 pH 值 $4.5 \sim 5.5$; 对于土壤有效锌、有效硼含量, 受 pH 值的影响比较复杂, 处于 $1.81 \sim 3.60$ mg/kg、 $0.29 \sim 0.35$ mg/kg 低水平范围上下波动。综上所述可知, 当土壤 pH 值在 $5.5 \sim 6.5$ 时, 氮、磷、钾、钙、镁和硼元素有效养分含量丰富, 而铁、锰、铜、锌和硫的有效性较低, 适宜的土壤 pH 可避免营养元素的缺乏和毒害作用, 因此施肥时应注意不同养分的配比, 才能保证作物根际养分的最大吸收率。

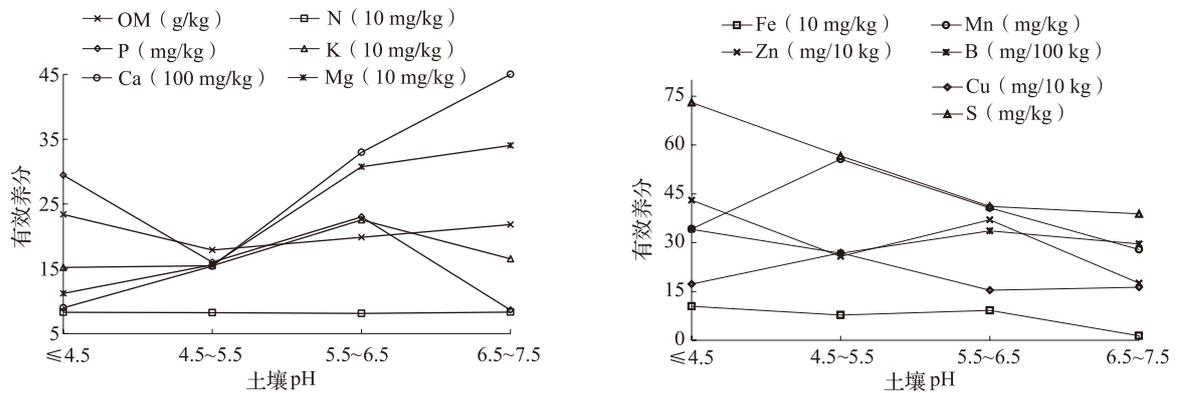


图2 pH组间土壤有效养分状况

2.4 柑橘园土壤养分、pH间回归方程建立

土壤养分含量、pH间的关系错综复杂,简单相关分析只能说明一些现象,结合专业知识与统计分析结果筛选出土壤养分与土壤pH具有显著影响的量化指标,将分组后的土壤养分(y)与pH值(x)进行曲线拟合,研究结果表明:

(1) 与有机质的关系。由图3可以看出,湖南省柑橘园土壤有机质含量在15~30 mg/kg适宜水平分布的较为广泛,对土壤pH和有机质含量拟合二次曲线方程 $y_{\text{有机质}}=2.38x^2-26.78x+92.26$,通过求解方程最优值可知,当土壤pH值为5.6时,土壤有机质含量为16.93 g/kg,在适宜含量15~30 g/kg范围内;当pH>5.6时,pH值与土壤有机质含量之间呈正相关关系,随着土壤pH值增大,有机质含量呈现增加趋势;当pH<5.6时,反之则降低。

(2) 与有效磷的关系。果园土壤有效磷含量大部分处于40 mg/kg以下,对土壤pH和有效磷含量之间拟合二次曲线方程 $y_{\text{有效磷}}=6.31x^2-74.05x+225.91$,通过求解方程最优值可知,当土壤pH值为5.9时,土壤有效磷含量为9.01 g/kg,低于15~80 mg/kg适宜含量;当pH>5.9时,pH值与土壤有效磷含量之间呈正相关关系,随着土壤酸碱度增大,有效磷含量呈现升高趋势;当pH<5.9时,酸性过强,土壤活性铁、铝与磷酸形成难溶性的磷酸铁或磷酸铝沉淀而被固定,降低土壤中磷的有效性和供磷能力。

(3) 与交换性钙、交换性镁的关系。酸性土壤及含钠高的盐碱土易发生缺钙、缺镁的症状,当土壤pH降低时土壤中正电荷增加,对钙、镁等

养分离子吸附减少^[19]。果园土壤交换性钙和交换性镁含量大部分处于2000和300 mg/kg以下的低量水平。分别对土壤pH与交换性钙和交换性镁含量之间拟合最优回归曲线, $y_{\text{交换性钙}}=55.06x^3-476.10x^2+1899.12x-2646.68$, $y_{\text{交换性镁}}=81.13x-217.45$ 。表明土壤中交换性钙、交换性镁的含量与pH值之间呈正相关关系,随着pH值的上升而呈现升高趋势。湖南省柑橘园土壤普遍呈酸性,酸性土壤中 H^+ 和 Al^{3+} 对 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的释放有明显的抑制作用。

(4) 与有效硫的关系。由图3可见,果园土壤有效硫含量大部分处于40 mg/kg以上的高量水平。对土壤pH与有效硫含量之间拟合最优回归曲线, $y_{\text{有效硫}}=7.21x^2-90.35x+320.68$,通过求解方程最优值可知,当土壤pH值为6.3时,土壤有效硫含量为37.66 mg/kg,在24~40 mg/kg适宜含量范围内;当pH<6.3时,pH值与土壤有效硫含量之间呈负相关关系,随着土壤pH值上升而呈现降低趋势;当pH>6.3时,反之则升高。

(5) 与有效铁的关系。土壤pH越高,铁的溶解度越低。对土壤pH与有效铁含量之间拟合最优回归曲线, $y_{\text{有效铁}}=-21.41x+188.73$,土壤有效铁含量与pH之间呈负相关关系,随着pH值的上升而降低的趋势。

综上所述,湖南省柑橘园土壤pH值在5.6~6.3时,土壤中矿质元素有效养分含量大部分适宜,能够满足柑橘营养需求,这与谢志南等^[20]、鲁剑巍等^[6]研究认为适宜柑橘栽培的土壤pH值为5.5~6.5的结论吻合。

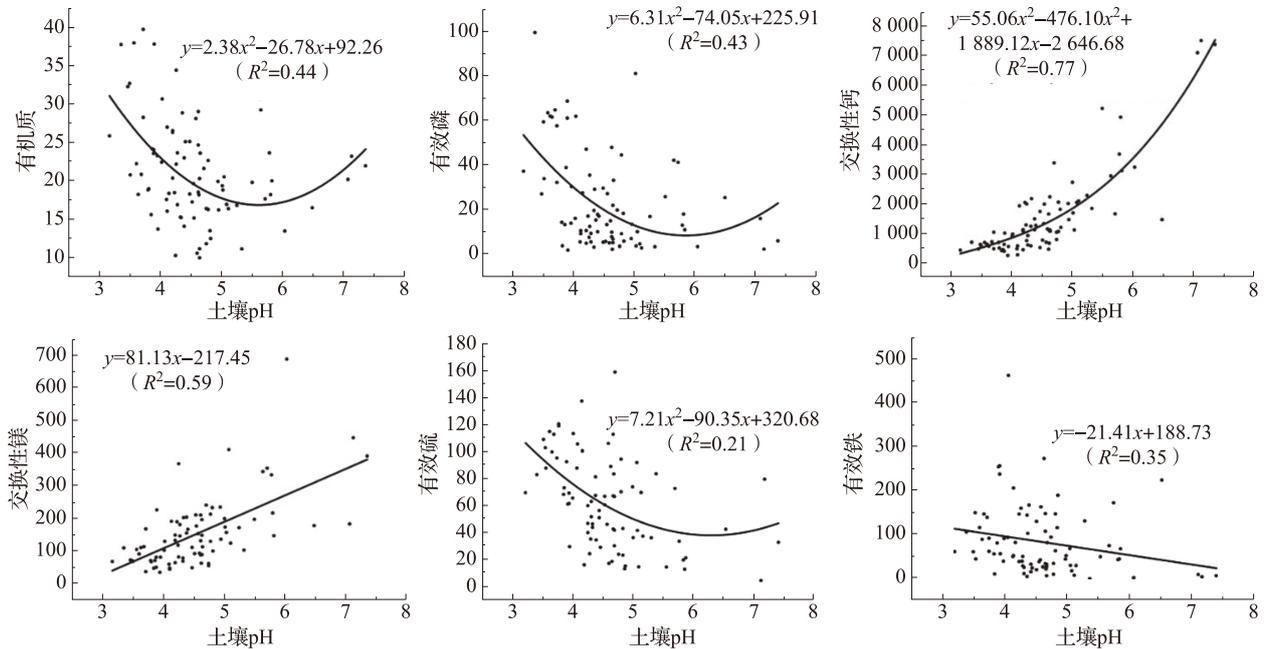


图3 土壤有机质、养分含量、pH之间变化趋势

3 讨论

土壤酸碱性是土壤的重要属性之一,对于土壤营养成分有效性、土壤微生物活性及作物的生长发育均有明显的影响^[21]。土壤过酸,易引起土壤板结,透气透水性差,造成土壤营养物质的吸附能力降低,加速养分流失,影响柑橘生长发育^[22]。湖南省柑橘园果树种植年限大部分超过20年,超过80%的果园土壤 $\text{pH} \leq 5.5$,处于酸性至强酸性环境,这可能与柑橘栽培过程中果农长期偏施化肥有关,而一般认为,适宜柑橘栽培的土壤 pH 值为5.5~6.5^[6]。合理施用石灰能够调节土壤酸碱性,改善果实品质,张影等^[23]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,降低果实酸度,提高果实可溶性固形物与可滴定酸的比值。土壤有机质含量是土壤肥力的重要指标,不仅含有植物所需的各种营养元素,如氮、磷和钾,同时腐殖质也是土壤团粒结构的重要组成部分,影响着土壤的水分、温度、松紧度等物理性状,测定有机质含量,可以作为施肥改土、提高土壤肥力的依据^[24-25]。国外丰产园有机质甚至高达20~60 g/kg,湖南柑橘园土壤有机质含量整体较高,其中85.94%的柑橘园土壤有机质含量处于适宜或高量水平,调查显示果农对于有机肥的施用意识普遍提高,在柑橘果园养分管理时,常施用菜枯、桐麸和畜禽粪等有机肥料。

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100.00%、61.56%和45.31%,这与多年来增施15-15-15和17-17-17的高氮磷钾复合肥有关,然而区域间养分差异显著,有效磷含量严重缺乏($\leq 15 \text{ mg/kg}$)的样点果园占32.88%,造成果园有效磷含量偏低的原因除土壤中总磷含量偏低外,酸性土壤中很大一部分磷与铁、铝、钙等结合成不溶性的磷酸铁、磷酸铝和磷酸钙而被固定有关^[26]。速效钾含量处于低量水平的样点果园占26.56%,部分地区柑橘园速效钾含量亏缺的原因是柑橘园砂质土、近代河湖冲积物和第四季红色粘土等土壤钾背景值较低,同时橘园多分布在丘陵山地水土流失严重,土壤淋溶性强^[19]。

酸性土壤中发生缺钙、缺镁的现象较为普遍,这可能与湖南亚热带气候地区土壤风化和淋溶作用强烈有关,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^[27]。土壤中的钙、镁等中量元素养分主要来自人为施用的肥料,调查中果园土壤有效钙含量处于低量水平的样点果园占43.75%,交换镁含量处于低量水平的样点占56.25%。南方酸性土壤缺乏交换性钙、镁含量已经成为制约柑橘果实品质提升的重要因素,酸性土壤通过施用石灰能够提高交换性钙的含量,而且施用生石灰可以缓冲土壤的酸碱性,降低铝的溶解度,减轻毒害。其中69.88%柑橘园土壤样品有

效硫含量处于高量水平,可能是长期施用含硫肥料容易导致硫酸根离子出现过量富集现象。本研究中部分柑橘园土壤微量元素有效铁、锰和铜过量,有效锌含量适宜,土壤有效硼缺乏,这可能是由于柑橘病虫害防治时大量使用铜制剂、波尔多液和代森锰锌等杀菌剂造成,而湖南柑橘土壤有效硼的缺乏现象严重,柑橘园土壤缺硼比例高达 85.94%,主要原因在于土壤有效硼含量较低,另外,柑橘园施肥时忽视硼肥的补充也是造成土壤缺硼的原因之一。

土壤养分的可利用性受土壤酸碱性和有效态养分的平稳作用,土壤 pH 值过高或过低均会影响元素在土壤中存在形态,研究柑橘园土壤养分间相互关系对正确培肥和土壤改良具有指导作用。Pearson 相关分析表明,土壤养分含量受 pH 值影响最大,土壤 pH 值与交换性钙 ($r=0.830^{**}$)、交换性镁 ($r=0.623^{**}$) 含量间呈极显著正相关水平,与有机质 ($r=-0.308^{**}$)、有效磷 ($r=-0.368^{**}$) 和有效硫 ($r=-0.404^{**}$) 间呈极显著负相关水平,与有效铁 ($r=-0.222^{*}$) 呈显著负相关水平,不同研究者观点不一致,可能与土壤条件、施肥习惯等差异有关。各养分含量在不同土壤 pH 组间存在极显著差异,拟合回归曲线证明了在 pH 为 5.6 ~ 6.3 弱酸性环境时,各养分有效含量基本适宜^[28]。湖南省柑橘园土壤酸化趋势应引起足够重视,柑橘园土壤进行改良与培肥时,建议采用测土配方施肥技术,全面考虑大中微量元素养分的配比选取合适的肥料品种平衡施肥,而不是只施用某一种单质肥。

4 结论

整体上湖南省柑橘园土壤养分肥力偏低且分布不平衡,土壤酸化严重,土壤养分比例失调尤其以有效钙、镁和硼元素的缺乏较为严重,部分柑橘园土壤有效铁、锰、铜和锌元素含量较高。研究表明柑橘园土壤酸碱性与土壤肥力的关系密切,建议园区培肥管理时应结合营养诊断进行平衡施肥,调节土壤酸碱性,改善土壤理化性质,控制氮、磷、钾肥施用比例,增施钙、镁和硼肥。

参考文献:

[1] 鲍江峰,夏仁学,彭抒昂,等. 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.
[2] 淳长品,彭良志,江才伦,等. 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.
[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.
[4] Zhou G F, Peng S A, Liu Y Z, et al. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency [J]. Trees, 2014, 28(1): 295-307.
[5] 苏婷婷,周鑫斌,徐墨赤,等. 重庆市柑橘园土壤养分现状研究[J]. 土壤, 2017, 49(5): 897-902.
[6] 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.
[7] 曾林芳,陈爱华,王成秋,等. 广西富川纽荷尔脐橙园土壤和叶片营养状况研究与评价[J]. 中国南方果树, 2012, 41(5): 8-12.
[8] 张强,魏钦平,刘旭东,等. 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.
[9] Fallahi E, Fallahi B, Neilsen G H, et al. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples [J]. Acta Horticulturae, 2011, 868: 49-60.
[10] Li Y, Han M Q, Lin F, et al. 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.
[11] 邓小华,张瑶,田峰,等. 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.
[12] 温明霞,鹿连明,王鹏,等. 浙江省柑橘园土壤养分调查[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(2): 208-211.
[13] 程琛,张世琪,林伟杰,等. 福建省平和县蜜柚园土壤铜素(Cu)状况及其影响因素研究[J]. 果树学报, 2018, 35(3): 301-310.
[14] 马小川,卢晓鹏,张子木,等. 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.
[15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[16] 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.
[17] 朱祖祥. 土壤学(上、下册)[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
[18] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
[19] 董艳红,王火焰,周健民,等. 不同土壤钾素淋溶特性的初步研究[J]. 土壤, 2014, (2): 225-231.
[20] 谢志南,庄伊美. 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.
[21] 雷靖,孙冠利,庄木来,等. 瑄溪蜜柚园土壤肥力和叶片营养随树龄的变化[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (1): 166-172.
[22] 郭振,王小利,段建军,等. 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.

- [23] 张影, 胡承孝, 谭启玲, 等. 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.
- [24] 梁玉衡. 论土壤团粒结构与土壤肥力的关系 [J]. 土壤通报, 1983, (1): 30-32.
- [25] 赵静, 沈向, 李欣, 等. 梨园土壤 pH 值与其有效养分相关性分析 [J]. 北方园艺, 2009, (11): 5-8.
- [26] 刘杰, 罗尊长, 肖小平, 等. 不同有机无机肥配比对冷浸田土壤肥力及水稻生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, (4): 23-27.
- [27] 李华东, 白亭玉, 郑妍, 等. 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.
- [28] 周鑫斌, 石孝均, 孙彭寿, 等. 三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 817-823.

Soil pH and main nutrient characteristics of citrus orchards and their correlation in Hunan province

CAO Sheng¹, OUYANG Meng-yun², ZHOU Wei-jun^{1*}, CUI Hao-jie¹, LIU Pei¹, TAN Jie¹ (1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128; 2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128)

Abstract: 84 soil samples of main citrus producing areas were collected to explore the soil nutrient deficiencies and excesses in citrus orchards in Hunan province, and provided theoretical basis for scientific fertilization management by measuring its pH, organic matter and mineral nutrients. The correlation between soil pH and soil fertility was analyzed by group regression method. The results showed that the soil organic matter and alkali N content in Hunan province were suitable, while the soil acidification of citrus orchards was serious and 1/3 of them had low levels of available P and available K. The ratio of exchangeable Ca and Mg deficiency was 43.75% and 56.25%, respectively, and the excess ratios of available S, Fe, Mn and Cu were 69.88%, 87.50%, 65.63% and 64.06%, respectively. The effective Zn content suitable ratio was 76.56%, and the effective B deficiency ratio was 85.94%. The relationship between soil pH and exchangeable Ca and Mg content were significant positive correlated, while it showed an extremely significant negative correlation with organic matter, available P and available S content and a significant negative correlation with effective Fe content. There was a significant difference between nutrient content and soil pH groups. It is calculated from the curve regression equation that when the pH value of the citrus orchard is 5.6 ~ 6.3, the mineral nutrient content in the soil is quite high. To adjust the pH value of the soil, control the application amount of N, P and K fertilizers, and supplement Ca, Mg and B fertilizers are the key points for the management of fertilization in the future.

Key words: Hunan province; citrus orchard; pH; soil nutrients; correlation; regression analysis