

福建平和蜜柚园土壤镁含量状况研究

张亚东^{1, 2}, 姜亚男², 李梦婷^{1, 2}, 吴良泉^{1, 2}, 杨文浩^{1, 2*}

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002;

2. 福建农林大学国际镁营养研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 为明确长期施肥下福建省平和县蜜柚园土壤镁素特征及其影响因素, 采集了 87 份平和县具有代表性的蜜柚园 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层土样, 对其进行镁含量测定, 并与其他相关土壤性质进行相关性分析。结果表明, 平和县土壤酸化程度较高, 土壤 pH 值平均为 4.5, 且存在土壤亚表层酸化现象。79% 的调研蜜柚园土壤存在表层 (0 ~ 20 cm) 交换性镁缺乏问题, 随着土层的加深, 镁含量显著降低, 从表层到底层土壤交换性镁含量平均值分别为 82.1、48.9、51.3 mg/kg。相关分析结果表明, 土壤交换性镁含量与种植年限呈负相关, 而与土壤 pH、有机质含量呈正相关, 且与土壤 K/Mg 呈反比。平和县土壤交换性镁含量缺乏与长期不合理的施肥方式有关。为实现蜜柚产业的可持续发展, 应在减少化肥投入的基础上增施有机肥, 提高有机质, 改良土壤酸性, 同时重视镁元素的补充。

关键词: 平和; 蜜柚园; 土壤镁含量; 交换性镁; 影响因素

镁是植物生长发育必需的营养元素之一。植物缺镁会降低叶片中叶绿素含量并逐渐使之失绿黄化, 光合作用强度降低, 碳水化合物、脂肪、蛋白质等合成受阻, 最终导致产量和品质的下降^[1]。植物吸收的镁主要来源于土壤, 植物镁营养的丰缺与土壤中有效镁含量密切相关^[2]。土壤中镁的形态分为有机态与无机态, 其中有机态镁平均不足 1%, 主要以无机形态为主, 无机态则分为矿物态、交换态和水溶态, 不同形态间可以相互转化^[3]。能被稀酸溶解的矿物态镁, 称为非交换态镁, 这是矿物中较易释放的镁, 可作为植物利用的潜在有效镁, 占全镁量的 5% ~ 25%^[3]; 交换态镁与水溶态镁合称为有效镁, 能够被植物吸收利用, 交换态镁的含量占全镁的 5% 左右^[4], 水溶态镁的含量则更少。土壤中有效镁的含量受土壤类型、土壤 pH、阳离子交换量、土壤胶体的种类及土壤中其他养分与镁之间的交互作用等影响^[5]。白由路等^[2]对我国土壤有效镁含量进行调查发现, 我国土壤中有效镁含量基本上呈北高南低的趋势, 其中

有 54% 的土壤因为有效镁含量低而需要不同程度补充镁肥, 而这些地区主要集中在我国南方酸性土壤地区。

平和县位于福建省漳州市西南部, 土壤类型主要为红壤。平和被誉为“世界蜜柚之乡”, 具有 500 多年的蜜柚栽培历史。由于“琯溪蜜柚”经济效益较高, 20 世纪 90 年代以来, 平和县蜜柚种植规模不断扩大, 目前全县蜜柚种植面积可达 4.33 万 hm², 产量高达 120 万 t^[5]。随着不断扩大的种植规模与日益提高的经济效益, 在蜜柚生产中逐渐出现过量施用化肥、土壤酸化、土壤养分积累和不均衡以及蜜柚缺素等现象^[6-8]。近年来, 国内外已经逐渐关注植物的镁营养并开展了相关研究^[9-10], 且国内也进行了柑橘缺镁的研究^[11-12]。但关于蜜柚园土壤镁状况的研究还处于起步阶段, 特别是关于不同深度土壤镁状况以及其影响因素等的相关研究还十分缺乏。

为了解平和蜜柚果园土壤镁状况, 本文采集了平和县集约化蜜柚果园 87 份土壤样品, 分析了长期施肥下不同土层镁含量的特征, 并就蜜柚园土壤交换性镁与土壤性质的关系进行了探讨, 以期为指导蜜柚果园土壤科学培肥、提高果实产量和品质提供科学参考。

收稿日期: 2020-05-09; 录用日期: 2020-06-06

作者简介: 张亚东 (1995-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤改良及修复研究。E-mail: zyd950@163.com。

通讯作者: 杨文浩, E-mail: a199905@163.com。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

在福建省平和县的蜜柚主产乡镇山格镇、安厚镇、坂仔镇、文峰镇、南胜镇、霞寨镇、小溪镇、大溪镇、国强乡、五寨乡分别选取具有代表性的 87 个蜜柚园进行土壤样品采集。在果实成熟期, 每个果园按照 S 形选取采样树 6 株, 在每株采样树的树冠滴水线内侧 (离树体约 1 m), 避开施肥穴, 每棵树按照对称位置取 4 个点, 将一个蜜柚园所采土壤混匀成一个土样, 四分法分取约 500 g 土壤为 1 个土壤样品, 带回实验室自然风干、混匀、磨细, 保存待测。采样时分 0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 60 cm 3 个不同土层。

1.2 土壤指标测定及方法

土壤 pH 采用电位法测定 (土水比为 1 : 2.5); 土壤交换性镁采用乙酸铵交换法 ICP-OES 测定; 水溶性镁采用土水比为 1 : 5 浸提 ICP-OES 测定; 非交换性镁采用 1.0 mol/L 硝酸煮沸 10 min 提取 ICP-OES 测定; 土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定; 有效磷含量用盐酸-氟化铵法浸提-钼蓝比色法测定; 速效钾含量用 1.0 mol/L 醋酸铵 (pH 7.0) 浸提-火焰光度法测定; 有机质含量采取重铬酸钾容量法 (外加热法) 测定^[13-14]。

1.3 土壤养分分级标准

土壤养分丰缺及 pH 分级评价以福建省土壤养分丰缺及 pH 值分级标准 (试行)^[15] 为主体, 同时结合前人研究^[8, 12, 16-17] 而定 (表 1)。土壤 pH 值分级标准为: pH < 4.5 为强酸性; 4.5 ~ 5.4 为酸性; 5.5 ~ 6.5 为弱酸性; 6.5 ~ 7.0 为微酸至中性; 7.1 ~ 7.5 为微碱性; 7.6 ~ 8.5 为碱性; pH 值 > 8.5 为强碱性。有研究表明, 适宜柑橘生长的土壤 pH 值为 5.0 ~ 6.5^[18]。有机质含量高低分为: < 15 g/kg 为低量; 15 ~ 30 g/kg 为适宜; > 30 g/kg 为丰富。土壤交换性镁含量分级标准为: < 60 mg/kg 为极缺;

60 ~ 120 mg/kg 为缺乏; 120 ~ 300 mg/kg 为适量; > 300 mg/kg 为高量。

表 1 柑橘园土壤养分分级标准 (mg/kg)

养分名称	含量分级			
	极缺	缺乏	适量	高量
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
交换镁	<60	60 ~ 120	120 ~ 300	>300

1.4 数据分析与处理

采用 SPSS 21.0 对数据进行差异显著性检验分析, 采用 Excel 2016 对数据进行处理和作图。

2 结果与分析

2.1 蜜柚园土壤 pH 和养分状况

不同深度土壤样品基本理化性质及养分状况见表 2。由表 2 可以看出, 蜜柚园表层 (0 ~ 20 cm) 土壤 pH 平均值为 4.56, 属于酸性土壤且不宜柑橘生长; 中层 (20 ~ 40 cm) 土壤和底层 (40 ~ 60 cm) 土壤 pH 平均值分别为 4.19 和 4.15, pH 值随土层的加深而降低, 出现明显的亚表层酸化现象。就整体而言, 蜜柚园 0 ~ 20 cm 表层土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的平均值分别为 131.29、638.93、192.15 mg/kg, 根据土壤养分分级标准属于适量、高量、适量。表层 0 ~ 20 cm 土壤有机质含量平均值为 22.51 g/kg, 属于适宜程度, 少数蜜柚园有机质含量可达 30 g/kg 以上; 中下层 20 ~ 60 cm 土壤有机质含量小于 15 g/kg, 属于低量程度。蜜柚园土壤碱解氮、有效磷、速效钾与有机质含量均存在随着土层加深而降低的趋势且存在显著性差异, 这说明生产过程中的施肥等活动不仅提高了土壤表层养分含量并且会影响到中下层土壤。

表 2 蜜柚园土壤基本理化性质

土层深度 (cm)	土壤 pH	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
0 ~ 20	4.56 ± 0.63a	131.29 ± 39.74a	638.93 ± 297.20a	192.15 ± 84.44a	22.51 ± 3.93a
20 ~ 40	4.19 ± 0.46b	83.66 ± 23.53b	384.85 ± 269.23b	144.44 ± 60.70b	14.36 ± 3.78b
40 ~ 60	4.15 ± 0.34b	66.69 ± 20.27c	171.70 ± 175.46c	138.88 ± 60.10b	10.88 ± 3.73b

注: 同列小写字母不同表示差异显著。

2.2 蜜柚园不同土层镁含量及其分布状况

表 3 为不同土层 3 种形态镁的含量。由表 3 可以看出,平和蜜柚园不同形态镁的含量表现为非交换性镁 > 交换性镁 > 水溶性镁。0 ~ 60 cm 土层非交换性镁含量变化范围为 281.71 ~ 336.90 mg/kg; 水溶性镁含量较低,含量为 11.68 ~ 18.80 mg/kg; 交换性镁含量为 48.90 ~ 82.12 mg/kg。随着土层的加深,水溶性镁与非交换性镁的含量降低,交换性镁含量则表现为上层(0 ~ 20 cm)显著高于中下层,中下层(20 ~ 60 cm)之间则没有显著差异(表 3,图 1)。

蜜柚园中土壤缺镁现象严重且很普遍,本文分别对上中下 3 层土壤交换性镁含量进行分级发现,交换性镁的缺乏在 3 层土壤中均有体现(图 1)。

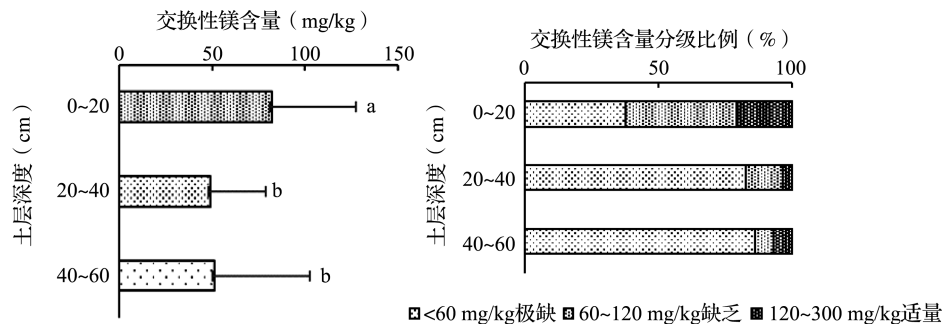


图 1 不同土层深度土壤交换性镁含量分布

2.3 土壤交换性镁含量的影响因素分析

土壤中镁的有效性受土壤类型、土壤 pH 及土壤中的其他养分与镁之间的交互作用等因素影响^[5]。本文对蜜柚种植年限、土壤 pH、土壤有机质与交换性镁含量进行了相关性分析,结果如表 4 所示。土壤 pH 和有机质含量都与交换性镁的含量呈极显著正相关关系,土壤 pH 和有机质之间也呈显著正相关关系。蜜柚种植年限与土壤 pH、交换性镁含量呈显著负相关关系。随着种植年限的增加,土壤 pH 下降、交换性镁的含量降低;种植年限与土壤有机质含量之间相关性不显著。

表 4 蜜柚园种植年限、土壤 pH 和交换性镁含量的相关性

	种植年限	pH	有机质	交换性镁
种植年限	1			
pH	-0.347*	1		
有机质	-0.119	0.225*	1	
交换性镁	-0.382**	0.575**	0.403**	1

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

本次调研中 38% 的蜜柚园上层土壤极度缺镁, 41% 缺镁, 只有 21% 的蜜柚园镁含量处于适宜状态; 中层土壤存在 83% 以上蜜柚园处于极度缺镁情况, 3.4% 的蜜柚园处于镁适宜状态; 底层土壤有 6.9% 的蜜柚园镁含量适宜, 86.2% 的蜜柚园土壤极度缺镁。随着土层深度的加深, 交换性镁含量处于极度缺乏的比例增加。

表 3 不同土层不同形态镁含量分布

土层 (cm)	交换性镁 (mg/kg)	水溶性镁 (mg/kg)	非交换性镁 (mg/kg)
0 ~ 20	82.12 ± 45.36	18.80 ± 16.49	336.90 ± 340.25
20 ~ 40	48.90 ± 30.04	13.48 ± 10.37	301.31 ± 373.53
40 ~ 60	51.28 ± 51.20	11.68 ± 8.98	281.71 ± 357.70

对不同种植年限、土壤 pH 和有机质含量对蜜柚园土壤交换性镁含量的影响进行分析(表 5)发现, 种植年限在 20 年以上的蜜柚园土壤交换性镁含量平均值显著低于 20 年以下的柚园, 且变异系数较大。随着种植年限的增加, 交换性镁含量丰富的蜜柚园所占比例由 22.22% 下降至 11.11%, 土壤镁极度缺乏蜜柚园由 50.00% 上升至 83.33%。平和蜜柚园土壤 pH 多低于 4.5, 属于强酸性土壤, 且平均交换性镁含量为 48.03 mg/kg, 属于极缺等级。随着 pH 的上升, 交换性镁含量平均值上升至 149.02 mg/kg。强酸性土壤中, 交换性镁含量极缺的蜜柚园占 82.09%, 仅有 4.48% 的蜜柚园交换性镁含量适宜蜜柚生长; pH 值在 4.5 ~ 5.4 的酸性土壤中, 缺镁蜜柚园为 73.68%, 有 26.32% 蜜柚园属于镁含量适宜等级; pH 值在 5.5 ~ 6.5 的弱酸性土壤中, 交换性镁含量适宜的蜜柚园上升至 33.33%, 且不存在极度缺镁现象。随着蜜柚园土壤有机质含量的上升, 交换性镁含量上升。有机质含量缺乏的蜜柚园中, 86.36% 土壤极度缺镁, 仅有 4.55% 含镁量适

表 5 不同种植年限、土壤 pH 和有机质含量对蜜柚园土壤交换性镁含量的影响

项目	各项目 分级	样本数	交换性镁含量 (mg/kg)		变异系数 (%)	交换性镁含量分级比例 (%)		
			平均值	标准差		<60 mg/kg	60 ~ 120 mg/kg	120 ~ 300 mg/kg
种植年限 (年)	<10	18	82.21	61.18	74.43	50.00	27.78	22.22
	10 ~ 20	12	83.18	43.65	52.47	33.33	50.00	16.67
	>20	18	44.21	34.98	79.13	83.33	5.56	11.11
土壤 pH	<4.5	67	48.03	38.29	79.71	82.09	13.43	4.48
	4.5 ~ 5.4	19	90.39	36.53	40.42	36.84	36.84	26.32
	5.5 ~ 6.5	3	149.02	62.40	41.87	0.00	66.67	33.33
有机质 (g/kg)	<15	44	45.78	35.21	76.92	86.36	9.09	4.55
	15 ~ 30	42	73.34	48.16	65.67	52.38	35.71	11.90
	>30	2	137.11	8.60	6.28	0.00	0.00	100.0

宜；土壤有机质含量适宜的蜜柚园，交换性镁含量适宜的柚园比例上升至 11.90%；本次调研采取的土样中，有机质含量丰富的土壤均不存在镁缺乏现象。

为进一步探究影响蜜柚园土壤交换性镁含量的因素，对土壤 K/Mg 与交换性镁含量进行相关曲线拟合（图 2）。结果发现，交换性镁含量与土壤 K/Mg 符合一元二次方程 $y=1.9205x^2-32.41x+142.57$ ，即随土壤 K/Mg 的逐渐增加，土壤交换性镁含量呈先降低后升高趋势，且 K/Mg 值主要集中在 1 ~ 6 范围内。

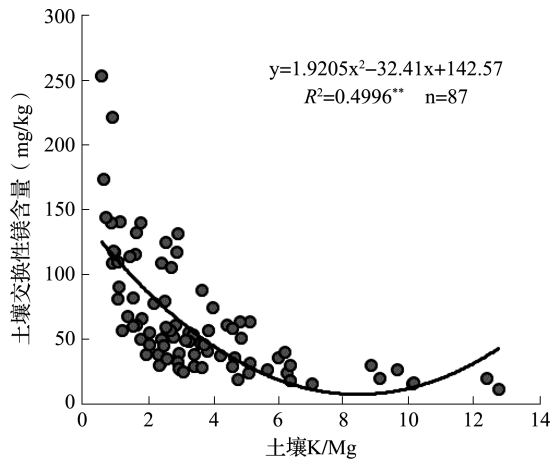


图 2 土壤 K/Mg 与土壤交换性镁含量的关系

3 讨论

从平和县琯溪蜜柚产区不同土层土壤镁的结果来看，平和蜜柚园土壤镁缺乏现象普遍，这与蜜柚生产过程中的施肥活动密切相关。平和地区降水量大，养分淋洗严重，也会加剧土壤镁的缺乏。另

外，研究中还发现蜜柚园存在碱解氮和速效钾含量充足，而有效磷含量超标的现象，这与前人研究报道相似^[19-20]。1980 ~ 2016 年间，平和县肥料用量由 1.2 万 t 增加至 11.4 万 t^[21]，有机肥施用不合理和对中微量元素的忽视，导致土壤酸化、养分含量分布不均、肥力下降等一系列问题^[22]。

研究结果显示，蜜柚园表层土壤交换性镁含量显著高于中下层，且中下层土壤之间镁含量没有显著性差异。产生这种现象的原因主要由于多年的施肥活动向土壤中投入的有机肥等肥料向表层土壤补充了镁，且土壤中镁离子的外围包有很厚的水化层，负电荷对它的吸引力较弱，因此镁在土壤中移动性很大，极易发生淋失^[23]，致使表层土壤中的镁向下移动，增加了中下层土壤镁含量。水溶态镁是溶解在土壤溶液中的镁^[3]，与土壤中交换性镁含量呈正比。本文中发现，随着土层的加深，非交换性镁含量降低。有研究指出，非交换性镁可作为土壤中被植物利用的潜在有效镁，若土壤交换性镁含量高，非交换性镁供给的相应较少^[3, 24]。

对蜜柚园土壤交换性镁含量的影响因素进行分析发现，种植年限、土壤 pH 和土壤有机质均显著影响土壤交换性镁含量，交换性镁含量随种植年限的增加呈降低趋势，随土壤 pH、土壤有机质含量的降低而降低。种植年限的增加引起交换性镁含量的降低可能是长期的蜜柚种植使得土壤中的镁一部分供给植物生长消耗，另一部分由修剪的枝条、果实带走。土壤镁被长期消耗，又由于农户对于中微量养分的忽视，导致土壤中的镁得不到补充，从而随着种植年限增加，土壤交换性镁

含量降低。许多研究表明,土壤镁的有效性 with pH 关系密切。一般认为,强酸性的土壤中的 H^+ 能够与 Mg^{2+} 竞争吸附位点,导致土壤有效镁含量明显减少,极易缺镁,中性偏碱性土壤中镁的有效性高于酸性土壤。研究显示,土壤交换性镁含量与土壤 pH 值呈显著线性正相关关系^[12, 25-26]。平和县蜜柚园由于过量施用化肥导致土壤酸化问题严重,种植年限越长,累积施肥量越高,土壤 pH 越低,调研结果显示,蜜柚园土壤 pH 下降至 4.5 左右。随着土壤 pH 的降低,土壤中 H^+ 、 Al^{3+} 、 Mn^{2+} 的浓度增加^[27],由于离子之间的竞争,减少土壤对 Mg^{2+} 的吸附,增加土壤溶液中镁的含量,再加上平和县高温多雨的气候,从而加剧了土壤中镁的淋失^[28-29]。本研究还显示,土壤交换性镁与有机质含量呈极显著正相关关系。研究表明,土壤有机质含量影响土壤对镁的吸附能力,当土壤有机质含量降低后对镁的吸附能力会随土壤类型有不同程度的下降^[30]。一方面,有机质作为一种胶体含有大量负电荷,土壤有机质本身可吸附 Mg^{2+} ,因此有机质含量高,交换镁量也高;另一方面,土壤有机质可以螯合土壤中的活性铁、铝等,减少其与镁竞争土壤吸附位点,也有利于镁的吸附。也有人认为土壤中镁的一个潜在来源是土壤有机质,有机结合的镁可能是一些特定土壤中镁的重要来源^[31]。目前 K/Mg 也是作为土壤有效镁的诊断标准,钾离子在土壤中含量过高会破坏养分间的平衡关系,影响其他离子在土壤中的转化和作物吸收^[4, 32]。土壤交换性 K/Mg 值的临界值在 0.67 ~ 1.40 范围内,大于 1.40 后植物则降低对镁的吸收,容易出现缺镁症状^[33]。从本文研究结果来看,蜜柚园土壤 K/Mg 多分布在 1 ~ 5 之间,由于钾镁之间的拮抗作用,高浓度的 K^+ 抑制了 Mg^{2+} 向植物的运输,减少植物对镁的吸收,降低了土壤镁的有效性。

4 结论

平和县蜜柚园土壤尤其是亚表层土壤酸化问题严重,出现养分缺乏与过量同时存在现象;土壤镁缺乏,交换性镁含量随蜜柚种植年限的增加而降低,与土壤 pH 和有机质含量呈正比。这些现象与人类的施肥活动密切相关。因此,在生产过程中应当减少化肥投入,控制氮磷钾肥用量,正确施用有机肥、补充镁等中量元素肥料,并进行土壤酸化改良。

参考文献:

- [1] 温明霞,石学根,吴韶辉,等.柑橘缺镁原因及矫治技术[J].浙江柑橘,2015,32(1):18-20.
- [2] 白由路,金继运,杨俐苹.我国土壤有效镁含量及分布状况与含镁肥料的应用前景研究[J].中国土壤与肥料,2004(2):3-5.
- [3] 汪洪.土壤镁素研究的现状和展望[J].中国土壤与肥料,1997(1):9-13.
- [4] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983.
- [5] 徐畅.重庆市植烟区土壤镁素营养及施镁效应研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [6] 李清华,王飞,何春梅,等.平和琯溪蜜柚施肥现状调查分析[J].南方农业学报,2016,47(12):2059-2064.
- [7] 林瑞坤,许修柱,郑朝元,等.福建省平和县蜜柚园磷肥使用现状及土壤磷素平衡研究[J].福建热作科技,2018,43(3):9-16.
- [8] 程琛,张世祺,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.
- [9] Farhat N, Elkhouni A, Zorrig W, et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 38(6):145-155.
- [10] 李丹萍.不同镁肥在土壤中的迁移淋洗及其生物有效性研究[D].重庆:西南大学,2018.
- [11] 黄翼,彭良志,凌丽俐,等.重庆三峡库区柑橘镁营养水平及其影响因子研究[J].果树学报,2013,30(6):962-967.
- [12] 刁莉华,彭良志,淳长品,等.赣南脐橙园土壤有效镁含量状况研究[J].果树学报,2013,30(2):241-247.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 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.
- [15] 徐志平,姚宝全.土壤养分丰缺指标[EB/OL].(2009-08-26).
http://www.top17.net/news_info/2086.html.
- [16] 冉烈,李会合.重庆猕猴桃主产区土壤养分含量现状及评价[J].黑龙江农业科学,2019(5):56-61.
- [17] 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.
- [18] 谢志南,庄伊美,王仁玟,等.福建亚热带果园 pH 值与有效态养分含量的相关性[J].园艺学报,1997,24(3):209-210.
- [19] 李发林,曾瑞琴,危天进,等.福建省平和县琯溪蜜柚果园土壤磷环境风险评价研究[J].中国生态农业学报,2015(8):1001-1009.
- [20] 章明清,林琼,杨杰,等.平和琯溪蜜柚果园养分状况与平衡施肥研究[J].福建农业学报,2003(3):37-41.
- [21] 许修柱.琯溪蜜柚生产中的碳排放及优化施肥的综合效应评价[D].福州:福建农林大学,2019.

- [22] 陈小明, 黄双勇, 黄新忠, 等. 平和蜜柚果园施肥存在的若干问题及建议[J]. 东南园艺, 2017, 5 (6): 44-46.
- [23] 金昆. 土壤对镁的吸附解吸特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [24] 李伏生. 南方几种土壤镁素释放和固定的初步研究[J]. 土壤通报, 1991 (3): 115-118.
- [25] 丁玉川, 焦晓燕, 聂督, 等. 山西农田土壤交换性镁含量、分布特征及其与土壤化学性质的关系[J]. 自然资源学报, 2012 (2): 311-321.
- [26] 侯玲利, 陈磊, 郭雅玲, 等. 福建省铁观音茶园土壤镁素状况研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (1): 133-138.
- [27] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. San Diego, CA: Academic Press, Elsevier, 2012.
- [28] Rab N, Preeda P, Hathairatana G, et al. Impacts of acid rain on base cations, aluminum, and acidity development in highly weathered soils of Thailand[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43 (10): 1382-1400.
- [29] 王代长. 酸化土壤中养分离子的淋失机理及金属离子的反应动力学[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.
- [30] 王龙, 王子芳, 金昆, 等. pH 和有机质对三种不同土壤镁吸附特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, (7): 156-161.
- [31] Mayland H F, Wilkinson S R. Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems: a review[J]. Journal of Animalence, 1989, 67 (12): 3437-3444.
- [32] 陈际型, 宣家祥. 低盐基土壤 K、Ca、Mg 的交互作用对水稻生长与养分吸收的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36 (4): 433-439.
- [33] 邹邦基, 何雪晖. 植物的营养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985. 195-206.

Effect of long-term fertilization on soil magnesium content of pomelo orchard in Pinghe county

ZHANG Ya-dong^{1, 2}, JIANG Ya-nan², LI Meng-ting^{1, 2}, WU Liang-quan^{1, 2}, YANG Wen-hao^{1, 2*} (1. College of Resources and Environment, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002; 2. International Magnesium Institute, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002)

Abstract: In order to understand the soil magnesium content of Pinghe county fujian Province pomelo orchard and its influencing factors, 87 samples of 0 ~ 20, 20 ~ 40 and 40 ~ 60 cm soil in typical pomelo orchards in Pinghe county were collected for the determination of magnesium content and the correlation analysis with other related soil properties was carried out. Results showed that, the degree of soil acidification in Pinghe county was higher, with an average pH value of 4.5 and there is soil acidification in the subsurface layer. 79% pomelo orchard was found to be deficient in exchangeable magnesium in the surface layer (0 ~ 20 cm). With the deepening of the soil layer, the magnesium content decreased significantly. The average exchangeable magnesium content in different soil layers was 82.1, 48.9 and 51.3 mg/kg, respectively. By correlation analyzing the influencing factors of soil exchangeable magnesium, it was found that the content of soil exchangeable magnesium decreased with the extension of planting years, and increased with the increase of soil pH and organic matter content, which was inversely proportional to soil K/Mg. The lack of exchangeable magnesium in Pinghe county is related to the long-term unreasonable fertilization method. In order to realize the sustainable development of pomelo industry, it is necessary to increase organic fertilizer on the basis of reducing the input of chemical fertilizer, increase organic matter, improve soil acidity, and pay attention to the supplement of magnesium element.

Key words: Pinghe county; pomelo orchards; soil Mg content; exchangeable magnesium; influencing factors