

华南荔科技园土壤 pH 状况及荔枝生长适宜的土壤 pH

邱全敏, 王 伟, 吴雪华, 周昌敏, 白翠华, 姚丽贤*

(华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510640)

摘 要: 针对我国土壤酸化普遍、华南土壤酸性较强的问题, 研究华南荔科技园土壤 pH 状况, 并进一步探讨荔枝生长最适 pH, 为荔科技园土壤 pH 改良的程度和范围提供理论依据和数据支持。采集华南荔枝主产区 458 个荔科技园土壤样本, 研究比较主产区土壤 pH 状况。另外, 采集华南典型荔科技园赤红壤 (pH 4.20), 以不添加改良剂为对照, 添加硫磺 ($0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和不同用量石灰 (0.5 、 1 、 2 、 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 调节土壤 pH, 形成 6 个土壤 pH 处理, 进行 120 d 土壤培养和 300 d 荔枝盆栽试验, 研究土壤 pH 对土壤性质及荔枝生长的影响。华南荔科技园土壤 pH 在 $3.85 \sim 7.82$ 之间, 平均为 4.64, 整体为酸性, 其中以广西荔科技园土壤总体酸性最强。强酸性、酸性、弱酸性、中性和弱碱性荔科技园分别占 45.7%、48.0%、5.0%、1.1% 和 0.2%。培养试验表明, 土壤 pH 在 $3.84 \sim 8.03$ 范围内, 碱解氮、速效钾、有效镁含量及脲酶、酸性磷酸酶活性与土壤 pH 呈显著负相关, 有效磷、钙和铜与 pH 为显著正相关, 有效锌、铁和锰与 pH 关系不密切。盆栽试验显示, 施用 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理荔枝叶片光合作用强, 不同时期叶片数、叶面积、茎粗均不同程度高于其他处理, 收获时生物量增量及增幅也显著高于其他处理。初步认为荔枝生长适宜的土壤 pH 为 5.03。如土壤 $\text{pH} \leq 4.64$ 或 ≥ 6.46 , 荔枝生长显著变差。如以 pH 为 5.03 作为最适宜的土壤 pH 来初步衡量, 则华南有 62.0% 的荔科技园土壤 pH 可能显著抑制荔枝生长, pH 需提高平均 0.68 个单位。这表明华南荔科技园土壤 pH 改良任务十分迫切。

关键词: 荔枝; 土壤 pH; 土壤养分; 土壤酶; 施石灰

荔枝是我国重要的热带亚热带水果, 种植荔枝是华南农村重要的经济来源。荔枝大部分种植于赤红壤及红壤丘陵山地, 土壤酸性强, 阳离子交换量和有机质含量低^[1]。不少研究表明, 土壤酸性或碱性过强会影响土壤化学和生物学性质^[2-4]。当 pH 达到一定阈值时, 可抑制植株生长发育, 降低作物产量和品质^[5-7]。根据国家荔枝龙眼产业体系的估算, 我国荔枝种植面积占世界荔枝种植面积的 69.2%, 但荔枝单产低于世界平均水平^[8]。荔科技园土壤酸性强, 理化性质差, 可能是我国荔枝产量低而不稳的主要原因之一。另外, 由于过量施氮^[9-10]、集约化耕作^[11]及大气沉降^[12]等原因, 我国土壤酸化现象普遍存在。华南荔科技园土壤也可能存在类似现象。土壤 pH 值过低, 土壤存在大量的氢离子, 正电荷数量增加, 与土壤胶体表面的钙离子、镁离子、钾离子等盐基离子竞争吸附, 促使

盐基离子易淋失^[13], 从而降低土壤养分肥力和肥料利用率。同时, 土壤 pH 降低会活化土壤铝, 而铝毒害抑制荔枝、龙眼和黄皮幼苗的生长^[14]。

目前国内有一些关于各地荔科技园土壤 pH 状况的报道^[15-17], 但对我国荔枝主产区荔科技园土壤 pH 状况尚缺乏全面了解和比较。同时, 有报道显示, 在酸性荔科技园土壤施用酸性改良剂可显著提高荔枝产量^[18]。荔枝原产华南, 适应当地土壤, 但目前对荔枝生长适宜的土壤 pH 并不清楚, 进行荔科技园土壤 pH 改良尚缺乏参考依据。本研究拟调查摸清华南荔枝主产区荔科技园土壤 pH 状况, 并以典型酸性荔科技园土壤 (赤红壤) 为研究对象, 调节土壤不同 pH, 通过土壤培养试验和荔枝盆栽试验探讨土壤 pH 变化对土壤其他性质及荔枝幼苗生长的影响, 以明确荔枝生长适宜的土壤 pH, 为华南荔科技园土壤 pH 的改良提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据我国荔枝龙眼体系各试验站提供的广

收稿日期: 2019-10-15; 录用日期: 2019-11-24

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-32)。

作者简介: 邱全敏 (1995-), 男, 江西赣州人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤调查评价与改良研究。E-mail: 1223608308@qq.com。

通讯作者: 姚丽贤, E-mail: lyaox@scau.edu.cn。

东、广西、福建、海南和云南荔枝种植面积,在种植面积大于 1 000 hm^2 的村镇,以大约每 1 000 hm^2 布设一个土壤样本的密度采集荔科技园土壤样本。采样园均为正常管理和生产的荔科技园,尽量分散且在当地有代表性。共采集 458 个荔科技园土样,其中广东 222 个,广西 187 个,福建 25 个,海南 20 个,云南 4 个。

另外,采集广东省广州市增城区荔城街东林果园 ($E 113^\circ 45' 56.32''$, $N 23^\circ 14' 33.85''$) 土壤,进行土壤培养试验和荔枝盆栽试验。该园土壤为赤红壤, pH 4.20、碱解氮 $44.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $23.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效钙 $93.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效镁 $7.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效铁 $26.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效锰 $1.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效铜 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效锌 $0.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体而言,土壤酸性强,养分含量低。土壤经风干、粉碎,过 2 mm 筛后备用。

荔枝盆栽试验供试品种为黑叶,是我国大宗主栽荔枝品种之一。在果实成熟期采集果实,取新鲜饱满种子,清洗、消毒后埋入干净河沙中育苗,仅浇自来水。育苗 1 个月后,选取大小基本一致、有 4 片真叶的植株移栽。

供试硫磺为分析纯化学试剂单质 S,供试石灰为分析纯化学试剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

1.2 试验方案

1.2.1 主产区荔科技园土壤样本的采集与测试

在各主产区荔枝果实收获后,马上采集荔科技园土壤样本。如荔科技园未密闭,则在荔枝树滴水线内外各约 20 cm 左右区域采集土壤,如已密闭则在树盘下(避开施肥位置)采集土壤。每个果园采集 8 ~ 10 钻 50 cm 深的土壤样本,混匀作为该果园样本。带回实验室经风干、磨碎后,用 pH 计 (FE28) 测定浸提液(土:水比为 1:2.5)的 pH。

1.2.2 土壤培养试验

试验共设置 6 个处理,分别为不加改良剂的对照 (CK)、添加 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硫磺(简称为硫磺)和不同用量石灰 (0.5 、 1 、 2 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别简称为石灰 1、2、3 和 4)。每个处理 3 个重复。以尿素、过磷酸钙、氯化钾作为基肥施用,用量分别为 $\text{N } 0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 0.075 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $\text{K}_2\text{O } 0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。将硫磺或石灰与 4 kg 土壤搅拌均匀,放入 5 L 的塑料桶中,置于网室内进行培养试验。培养期内保持土壤含水量约为田间持水量的 75% 左右。

1.2.3 荔枝盆栽试验

荔枝盆栽试验处理与土壤培养试验相同,但每个处理重复 4 次。分别将硫磺和石灰与 4 kg 土壤搅拌均匀,放入 5 L 的塑料桶中,置于网室内,保持土壤含水量为田间持水量的 75% 左右平衡 20 d,然后移栽荔枝幼苗。移栽前,每株幼苗去掉种子,用自来水清洗,吸干水分后用百分之一天平称取每株鲜重,然后移栽入塑料桶。每桶移栽 1 株。试验期间保持土壤水分约为田间持水量的 75%,做好除草及防虫管理。

1.2.4 室内试验样本的采集与测试

1.2.4.1 土壤样本 培养试验的土壤样本在试验的第 0、5、10、15、20、30、40、60、80、100、120 d 采集。每次用土钻在每一盆采集 150 g 左右土壤,充分混匀,风干、磨碎、过筛后用于测定土壤 pH、养分含量(碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、镁、铁、锰、铜和锌含量)和土壤酶活性(脲酶、酸性磷酸酶)。

土壤 pH 采用与果园土壤同样的方法测定,碱解氮用碱解扩散法测定,有效磷用氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 醋酸铵浸提-火焰光度法测定,土壤有效钙、镁用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法测定,有效铁、锰、铜、锌采用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸浸提-原子吸收分光光度法测定^[19]。脲酶用靛酚比色法测定,酸性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定^[20]。

1.2.4.2 植株样本 盆栽试验分别在第 150、230 和 260 d 调查植株叶片数,用游标卡尺测量茎粗。在第 230 d 用便携式光合仪 (Li-6400XT) 测定叶片光合特性,用便携式叶绿素仪测定叶片 SPAD 值。在第 300 d,采用便携式叶面积仪测定植株叶片面积后收获,称取每株鲜重。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件处理数据。用 Origin 7.5 作图,用 SPSS 20.0 进行 Pearson 相关分析,用 SAS 9.0 进行 Duncan's 多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 华南荔科技园土壤 pH 状况

华南 5 省区荔科技园土壤 pH 在 3.85 ~ 7.82 之间,平均为 4.64,变异系数为 11.4% (表 1)。其中,广西产区土壤 pH 在 3.95 ~ 7.82 之间,平均值为 4.47;广东、福建、海南产区土壤 pH 分

别在 3.85 ~ 7.29、4.28 ~ 5.62 和 4.10 ~ 6.35 之间, 平均分别为 4.72、4.79 和 4.94; 云南土壤 pH 在 4.90 ~ 6.86 范围内, 平均为 5.9。按照我国第二次土壤普查土壤性质分级标准^[21], 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 为弱碱性, 则 5 省区荔枝园土壤整体上为酸性。其中, 广西产区土壤酸性相对最强, 整体为强酸性; 广东、福建和海南整体为酸性; 云南整体为弱酸性。

表 1 华南荔枝园土壤 pH 状况

项目	华南	广东	广西	福建	海南	云南
pH 范围	3.85 ~ 7.82	3.85 ~ 7.29	3.95 ~ 7.82	4.28 ~ 5.62	4.10 ~ 6.35	4.90 ~ 6.86
平均值	4.64	4.72	4.47	4.79	4.94	5.9
变异系数 (%)	11.4	11.0	10.3	7.3	11.7	13.7

对 5 省区荔枝园土壤 pH 进行频数分析, 则 45.7% 荔枝园土壤呈强酸性, 48.0% 及 5.0% 分别呈酸性和弱酸性, 中性及弱碱性的各占 1.1% 和 0.2% (表 2)。其中, 土壤呈强酸性、酸性和弱酸性的广东荔枝园分别占 35.1%、57.7% 和 5.4%, 呈中性的仅占 1.8%。土壤呈强酸性的广西荔枝园最多, 占 66.3%, 酸性、弱酸性和弱碱

性的分别占 31.0%、2.2% 和 0.5%。福建荔枝园土壤呈强酸性的占 16.0%, 酸性和弱酸性的分别占 76.0% 和 8.0%。海南荔枝园土壤 pH 分布状况与福建类似, 15.0% 呈强酸性, 酸性和弱酸性的分别为 70.0% 和 15.0%。土壤呈酸性、弱酸性及中性的云南荔枝园分别占 25.0%、50.0% 和 25.0%。

表 2 华南荔枝园土壤 pH 分级状况

(%)

pH 分级	酸碱性	华南	广东	广西	福建	海南	云南
<4.5	强酸性	45.7	35.1	66.3	16.0	15.0	—
4.5 ~ 5.5	酸性	48.0	57.7	31.0	76.0	70.0	25
5.5 ~ 6.5	弱酸性	5.0	5.4	2.2	8.0	15.0	50
6.5 ~ 7.5	中性	1.1	1.8	—	—	—	25
7.5 ~ 8.5	弱碱性	0.2	—	0.5	—	—	—

2.2 不同处理对土壤性质的影响

2.2.1 土壤 pH

培养试验不同处理土壤 pH 变化 (图 1) 显示, 120 d 内对照处理 pH 在 3.84 ~ 5.06 之间, 平均为 4.64。施用硫磺显著降低 pH, 土壤 pH 在 3.93 ~ 5.01 范围内波动, 平均为 4.25。施用 0.5 和 1 g · kg⁻¹ 石灰处理的 pH 分别在 3.95 ~ 5.33 和 4.23 ~ 5.70 之间, 平均分别为 4.68 和 5.03, 但与对照的差异未达显著水平。当石灰用量达到 2 和 4 g · kg⁻¹ 时, pH 分别为 6.22 ~ 7.34 和 7.38 ~ 8.03, 平均分别为 6.46 和 7.58, 均显著高于对照。

2.2.2 大量元素

图 2a 显示, 培养期间对照处理碱解氮含量在 102.0 ~ 186.7 mg · kg⁻¹ 水平之间。施用硫磺处理

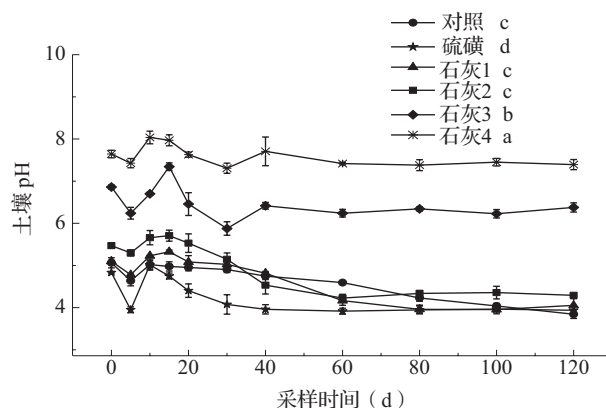


图 1 培养期间不同处理土壤 pH 动态变化

注: 对照指未添加改良剂的处理, 硫磺指硫磺用量为 0.5 g · kg⁻¹, 石灰 1、2、3 和 4 指石灰用量分别为 0.5、1、2 和 4 g · kg⁻¹。图中图例后面字母不相同者, 表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

碱解氮含量比对照处理有所提高,但未达显著水平。施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰也一定程度提高土壤碱解氮,但石灰用量达到 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时碱解氮有所下降,如石灰用量继续提高至 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,则碱解氮含量显著下降,当石灰用量达到 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,碱解氮含量则进一步下降。在培养结束时,石灰处理土壤碱解氮分别比对照降低 14.4%、53.5%、48.3% 和 57.9%。施用石灰降低土壤碱解氮主要是由于其中铵态氮含量随土壤 pH 提高而降低造成^[22]。

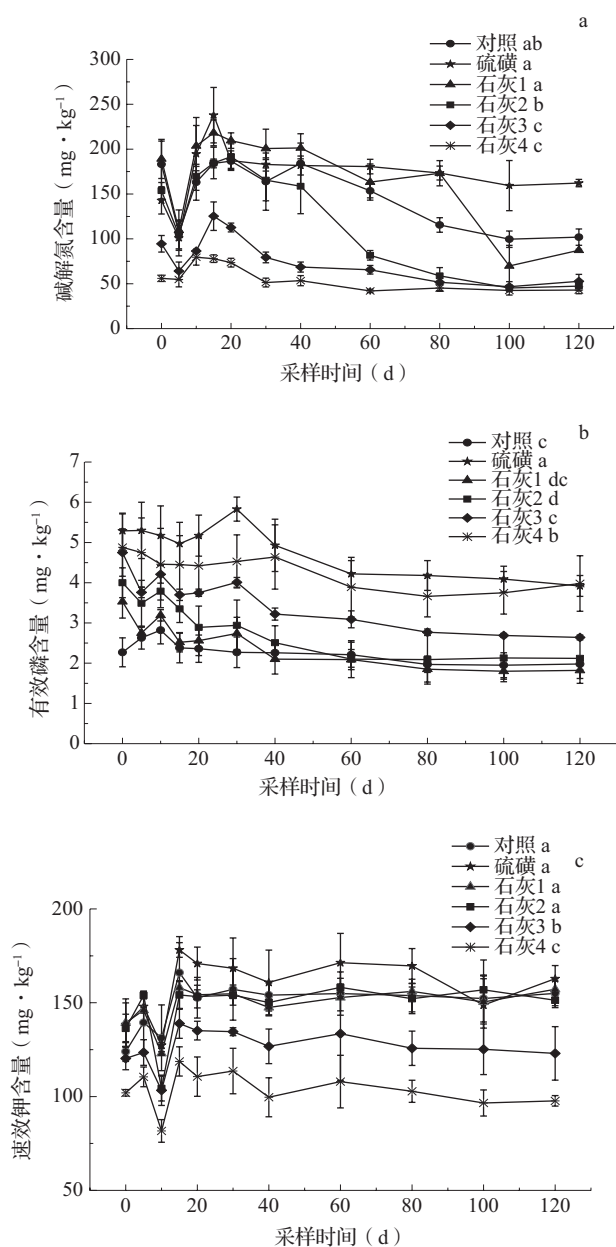


图2 培养期间不同处理土壤大量元素养分动态变化

培养期间对照土壤有效磷在 $1.98 \sim 2.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间 (图2b)。施用硫磺显著提高有效磷含量

($P < 0.05$), 这大概是由于硫磺促进缓效态磷向有效态磷转化而提高磷的有效性^[23]。施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰可提高有效磷含量, 当石灰用量达到 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及以上时, 有效磷含量均显著提高。由于赤红壤中磷主要为闭蓄态磷, 施用石灰促使闭蓄态磷的释放, 从而提高土壤有效磷含量^[24]。培养结束时, 施用 1、2 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理有效磷分别比对照提高 7.1%、33.3% 和 101.0%。

对照处理速效钾含量培养期间在 $124.0 \sim 166.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 水平之间 (图2c)。施用硫磺和 0.5 及 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰对速效钾影响不大, 但当石灰用量 $\geq 2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 速效钾含量显著下降。培养结束时, 施用 2 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理速效钾含量分别比对照降低 20.6% 和 37.0%。由于土壤 pH 提高会抑制缓效钾向速效钾的转化^[25], 在本试验中大概是因为石灰提高了土壤 pH 而降低了速效钾含量。

2.2.3 中量元素

培养期间对照土壤有效钙含量在 $123.9 \sim 255.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 属于极缺乏水平 (图3a)。施用硫磺和石灰均可显著提高有效钙含量, 而且有效钙含量随石灰用量增加而提高。

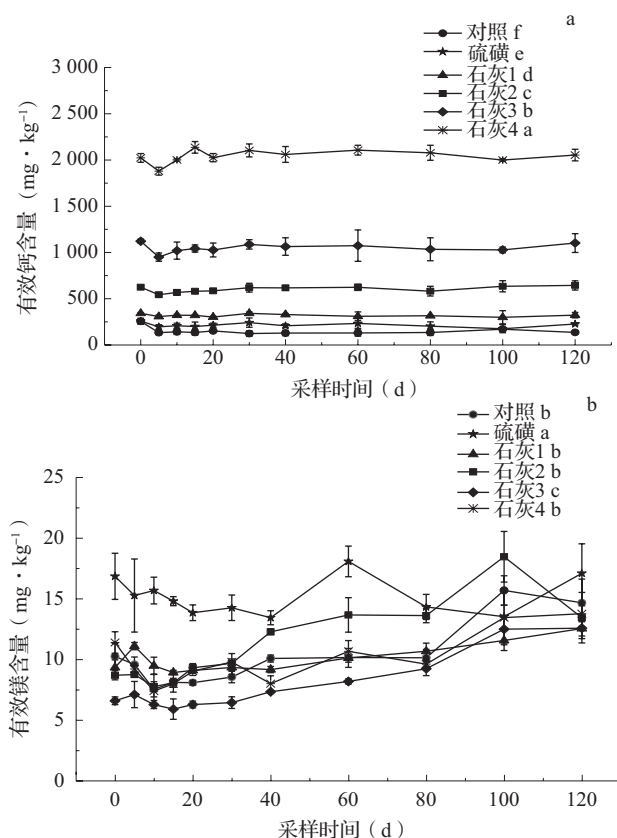


图3 培养期间不同处理土壤有效钙、镁含量动态变化

对照土壤有效镁含量在 $7.6 \sim 15.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间变化 (图 3b)。施用硫磺显著提高有效镁含量, 培养结束时比对照提高 66.3%。除施用 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰显著降低有效镁含量外, 石灰其他用量处理对有效镁影响则不大。由于土壤胶体对镁离子的吸附强度小于钙离子, 而土壤钙离子含量的增加可解吸镁离子^[26], 从而提高有效镁含量。然而, 在低 pH 土壤中, 随着 pH 的提高镁的固定作用也会加强^[26], 而且土壤氢氧根离子的增加也易与镁产生氢氧化镁沉淀^[27]。施用 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰土壤 pH 提高 1.83 个单位, 有效钙含量提高 7.03 倍; 而施用 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰土壤 pH 仅提高 2.95 个单位, 有效钙提高 13.66 倍。由此可见, 由于钙离子和氢氧根离子对镁的双重影响, 导致了不同用量石灰处理有效镁含量的变化差异。

2.2.4 微量元素

对照处理有效铜含量培养期间维持在 $0.30 \sim 0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间 (图 4a)。施用硫磺显著提高有效铜含量, 施用 0.5 和 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰也可提高有效铜, 当石灰用量 $\geq 2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 有效铜含量显著提高, 但 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 用量的作用反而显著低于 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。施用石灰提高酸性土壤有效铜含量这种现象与孟赐福等^[28]及葛顺峰等^[29]的研究结果一致。前人认为酸性土壤提高土壤 pH 会促进植物生长而有利于根茬和掉落物在土壤的累积而提高土壤有机质^[28], 而有机质中的酸性基团可促使铜的活化^[30], 从而提高有效铜含量。然而, 本试验为短期的培养试验, 也未种植植物, 土壤有机质含量增加而提高土壤铜有效性的解释并不能说明本研究施用石灰提高有效铜含量的现象。因此, 具体原因仍需进一步研究。

对照处理土壤有效锌含量在 $0.35 \sim 0.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间 (图 4b)。施用硫磺显著提高有效锌含量 ($0.68 \sim 1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰一定程度降低有效锌含量, 当石灰用量达到 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时则显著降低有效锌 ($0.25 \sim 0.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。然而, 当石灰用量提高至 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 有效锌含量降幅减少; 当石灰用量达到 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 有效锌含量反而比对照有所提高, 但未达显著水平。研究表明, 当土壤 pH 提高时, 土壤中的锌易形成氢氧化物、硫化物等沉淀, 从而有效性下降^[30]。同时, 土壤溶液中锌浓度也与其竞争阳离子 (如钙离子) 呈负相关^[28]。另外, 酸性土壤中, 施用碱性物质提高 pH, 促进植物生长而提高有机质含量^[29], 有机质可活化难

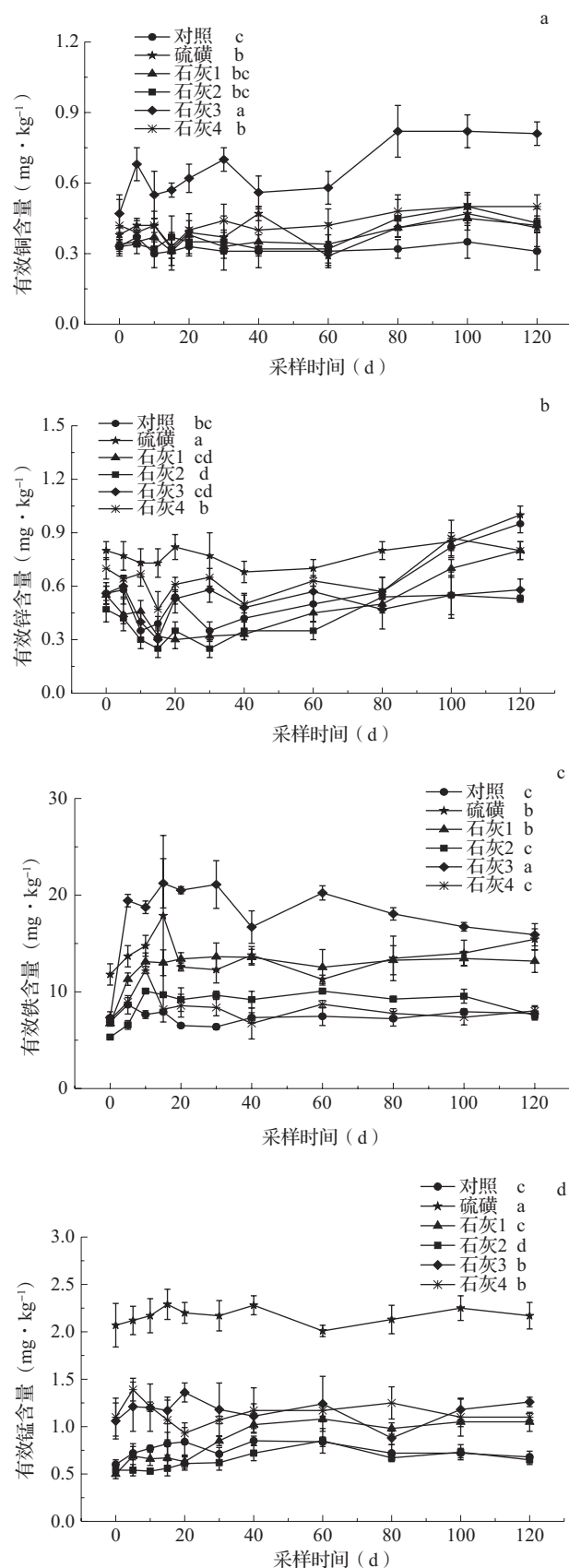


图4 培养期间不同处理土壤有效铜、锌、铁、锰含量动态变化

溶性的锌^[31], 而土壤磷含量的增加也可提高锌的有效性^[32]。施用石灰可提高土壤 pH 值, 同时土壤有效磷和钙含量也有所提高。因此, 土壤有效锌含量受多种因素影响, 是各种因素综合作用的结果, 导致本试验有效锌含量与石灰含量呈现非线性的关系。

对照处理有效铁含量维持在 $6.38 \sim 7.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间 (图 4c)。施用硫磺及 0.5 和 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰显著提高有效铁含量, 但当石灰用量为 1 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 有效铁含量却变化不大。由于土壤中的铁离子易与氢氧根离子形成沉淀而降低有效铁含量^[27], 而土壤有机质对铁的络合作用可以促进难溶性铁向可溶性铁转化, 提高铁的有效性^[30], 因此, 施用硫磺降低土壤 pH 而提高有效铁含量, 施用石灰增加土壤氢氧根离子而降低铁的有效性。然而, 有效铁含量并未随石灰用量的增加而一直提高, 可能与不同 pH 下土壤不同类型含铁化合物的溶解度或其他性质的变化有关。这有待进一步研究确定。

与对照 ($0.60 \sim 0.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 相比, 施用硫磺显著提高了锰的有效性 ($2.01 \sim 2.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (图 4d)。施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰对土壤有效锰影响不大, 当用量达到 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时则显著降低有效锰含量。然而, 当石灰用量 $\geq 2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 有效锰含量却显著提高, 而且 2 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 两个用量处理间差异不明显。由于有效锰含量与土壤 pH 为显著负相关^[22, 29], 但同时与有机质含量呈显著正相关, 而有机质含量与土壤 pH 呈显著正相关^[29]。施用硫磺降低了土壤 pH 而提高有效锰含量, 低用量石灰略微提高土壤 pH 而降低有效锰含量, 而高量石灰处理土壤 pH 显著提高, 可能有利于土壤有机质的累积而间接提高了锰的有效性。

2.2.5 土壤酶活性

土壤脲酶可以把尿素分解为氨和二氧化碳, 对土壤氮素循环有重要意义^[33]。培养期间对照土壤脲酶活性保持在 $120 \sim 251 \text{ NH}_3\text{-N} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 水平 (图 5a)。施用硫磺 70 d 左右, 脲酶活性明显低于对照, 但随后至培养结束时, 则明显提高脲酶活性, 但整体上对脲酶活性影响未达显著水平。施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰显著提高脲酶活性, 但当石灰用量提高至 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时脲酶活性反而有所下降。当石灰用量提高至 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 脲酶活性显著降低, 如进一步提高至 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 则脲酶活性进一步下降。有研究表明, 在酸性土壤中施用石灰提高脲酶活性, 是由于土壤 pH 的提高促进了可产生脲酶的土壤微生物的生

长^[34]。本试验结果表明, 如施用石灰量过高, 土壤 pH 提高过大, 脲酶活性反而会下降。

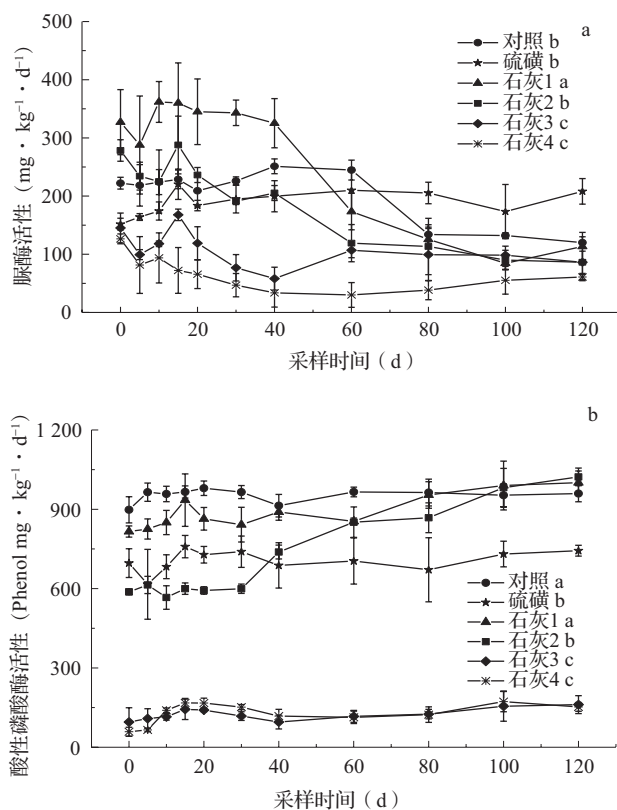


图5 培养期间不同处理土壤脲酶和酸性磷酸酶活性动态变化

磷酸酶能够促进有机磷化合物的分解, 提高土壤磷的有效性, 可用于表征土壤磷状况^[35-36]。对照处理土壤酸性磷酸酶活性培养期间在 $898 \sim 980 \text{ Phenol} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间 (图 5b)。施用硫磺显著降低酸性磷酸酶活性, 施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰则降低酸性磷酸酶活性。当石灰用量达到 $\geq 1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 酸性磷酸酶活性则随石灰用量的增加而显著降低。石灰降低酸性磷酸酶活性的作用在李兆林等^[37]的研究中已有报道, 这是由于土壤 pH 的提高会抑制酸性磷酸酶活性^[38]。

2.2.6 土壤养分及酶活性与 pH 关系

将培养试验土壤 pH 与养分含量及酶活性进行相关分析, 在本试验土壤 pH 范围 ($3.84 \sim 8.03$) 内, 土壤碱解氮、速效钾、有效镁、脲酶和酸性磷酸酶活性与 pH 为显著负相关, 有效磷、有效钙、有效铜则与土壤 pH 为显著正相关, 有效锌、铁和锰则与 pH 关系不密切。由此可见, 添加硫磺或不同用量石灰改良土壤 pH 的同时对土壤不同性质的影响各异, 必须综合考虑荔枝植株的实际生长反映来确定荔枝生长适宜的土壤 pH。

表 3 土壤 pH 与土壤养分含量及酶活性 Pearson 系数

指标	Pearson 系数
碱解氮	-0.529**
有效磷	0.380**
速效钾	-0.850**
有效钙	0.914**
有效镁	-0.579**
有效铜	0.375**
有效锌	-0.128
有效铁	0.016
有效锰	-0.135
脲酶活性	-0.458**
酸性磷酸酶	-0.872**

注: ** 表示相关达 0.01 显著水平。

2.3 不同处理对荔枝生长的影响

荔枝移栽 230 d 后叶片光合指标测定结果(表 4)显示,与对照相比,施用硫磺一定程度降低叶片气孔导度,对叶片胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率影响不大,但显著降低叶片净光合速率和叶绿素 SPAD 值。施用不同用量石灰对叶片气孔导度的影响均未达显著水平,对胞间二氧化碳浓度则没有影响。除施用 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理蒸腾速率显著高于其他所有处理外,其他施用石灰处理则与对照没有差别。施用石灰对叶片净光合速率均影响不大。除施用 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理叶绿素 SPAD 值显著低于对照外,其他石灰处理变化不大。石灰用量为 0.5 和 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,叶片叶绿素 SPAD 值变化不大,但用量继续提高则 SPAD 值降低,如用量达到 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,叶绿素 SPAD 值则显著降低。整体来看,土壤 pH 过低或过高,均对荔枝叶片光合能力有所抑制。

表 4 不同处理荔枝光合特性和叶绿素指数

处理	气孔导度 ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间二氧化碳浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	蒸腾速率 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	净光合速率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	叶绿素 SPAD 值
对照	$0.25\pm0.06\text{ab}$	$251.25\pm25.82\text{a}$	$2.28\pm0.28\text{b}$	$8.07\pm0.45\text{a}$	$46.60\pm6.27\text{a}$
硫磺	$0.19\pm0.03\text{b}$	$265.50\pm33.23\text{a}$	$2.05\pm0.15\text{b}$	$6.90\pm0.75\text{b}$	$36.85\pm7.64\text{b}$
石灰 1	$0.22\pm0.06\text{ab}$	$245.25\pm16.88\text{a}$	$2.22\pm0.32\text{b}$	$7.72\pm0.81\text{ab}$	$46.40\pm2.63\text{a}$
石灰 2	$0.32\pm0.06\text{a}$	$251.75\pm39.95\text{a}$	$2.83\pm0.27\text{a}$	$8.42\pm0.37\text{a}$	$48.93\pm2.38\text{a}$
石灰 3	$0.24\pm0.61\text{ab}$	$253.01\pm39.90\text{a}$	$2.27\pm0.28\text{b}$	$7.57\pm0.77\text{ab}$	$43.13\pm4.90\text{ab}$
石灰 4	$0.18\pm0.07\text{b}$	$241.02\pm26.68\text{a}$	$2.13\pm0.32\text{b}$	$7.97\pm0.41\text{a}$	$38.65\pm3.30\text{b}$

注: 小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

荔枝植株生长调查(图 6)表明,施用硫磺的荔枝植株生长缓慢。移栽 150 d 后,叶片数仅为 7.5 片,显著低于对照的 14.3 片,茎粗(2.73 mm)也明显低于对照(3.39 mm)。在移栽 230、260 和 300 d 后,植株叶片数和茎粗均大多显著低于对照。施用 $0.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰,荔枝在 150 d 时的叶片数和茎粗明显低于对照,但随时间延长,这种差距逐渐减少,在 300 d 时叶片数高于对照,茎粗也稍有提高。当石灰用量为 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,4 次调查的荔枝叶片数和茎粗均为最高,且 300 d 时叶片数显著高于对照,茎粗也明显提高。当石灰用量为 $2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,荔枝不同时间的叶片数和茎粗均比对照有不同程度下降。当石灰用量提高至 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,荔枝叶片数及茎粗不同程度低于对照,也低于 $0.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理。

对荔枝幼苗生物量调查显示,虽然不同处理所

用荔枝幼苗初始生物量存在一定差别,但差异未达显著水平(表 5)。荔枝移栽 300 d 后,施用硫磺处理的生物量增量显著低于对照,也不同程度低于所有施用石灰处理。施用 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理生物量增量显著高于其他所有处理,在此基础上提高石灰用量反而显著降低生物量增量。而且,除与对照的生物量增幅差异未达显著水平外,施用 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理的生物量增幅均显著高于其他所有处理,施用硫磺处理的生物量增幅最低。对于叶面积,也以施用 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理最高,其他所有处理均有不同程度降低。以上表明,荔枝幼苗初始生物量对不同处理植株后期生长差异并未造成明显影响。施用 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 石灰处理最有利于植株的生长,提高或降低石灰用量,促进荔枝生长的作用均有所下降。施用硫磺则显著抑制了植株生长。

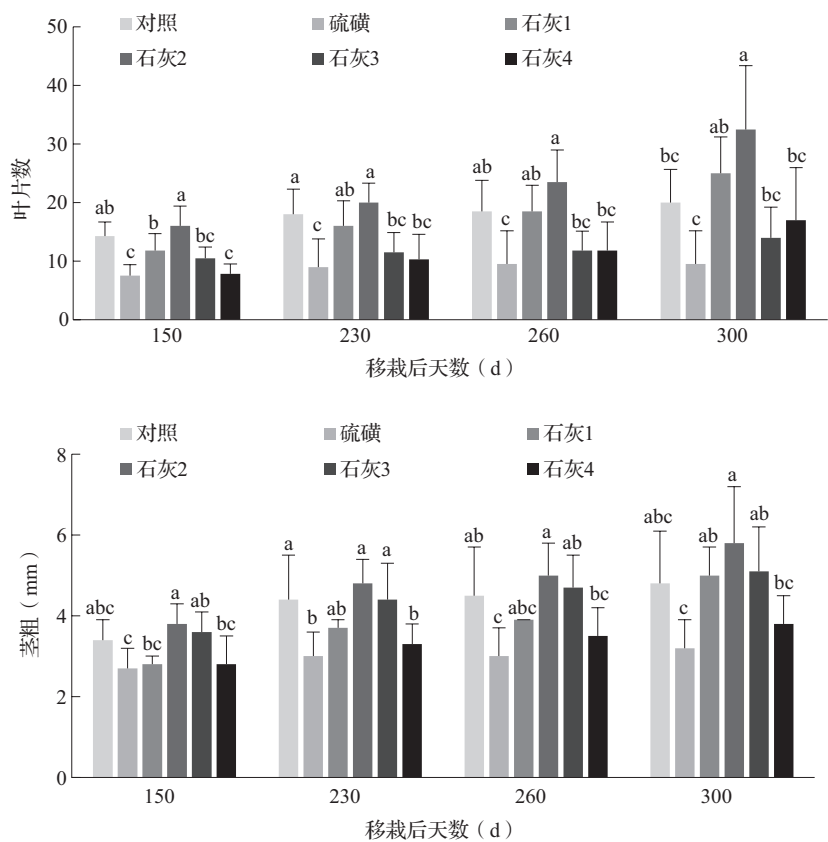


图 6 不同处理荔枝叶片数和茎粗的差异

表 5 不同处理对荔枝生物量变化和叶面积差异 (移栽 300 d)

处理	初始生物量 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)	生物量增量 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)	生物量增幅 (%)	叶面积 ($\text{cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$)
对照	$2.02 \pm 0.51\text{a}$	$15.44 \pm 10.19\text{b}$	$860 \pm 702\text{ab}$	$35.79 \pm 13.02\text{a}$
硫磺	$2.10 \pm 0.31\text{a}$	$2.39 \pm 1.74\text{d}$	$109 \pm 62\text{c}$	$20.76 \pm 2.60\text{b}$
石灰 1	$1.72 \pm 0.10\text{a}$	$14.07 \pm 5.70\text{bc}$	$821 \pm 349\text{b}$	$31.58 \pm 5.99\text{ab}$
石灰 2	$1.83 \pm 0.37\text{a}$	$24.33 \pm 6.21\text{a}$	$1\,319 \pm 164\text{a}$	$41.04 \pm 15.03\text{a}$
石灰 3	$2.04 \pm 0.27\text{a}$	$8.86 \pm 3.33\text{bcd}$	$440 \pm 163\text{bc}$	$21.43 \pm 4.02\text{b}$
石灰 4	$2.16 \pm 0.32\text{a}$	$5.84 \pm 2.53\text{cd}$	$277 \pm 135\text{c}$	$18.22 \pm 1.30\text{b}$

3 讨论

3.1 荔枝生长适宜的土壤 pH

本研究用硫磺和石灰调节酸性土 pH，使之从强酸性变为弱碱性，培养试验土壤有效磷、有效钙、有效铜含量与 pH 为显著正相关，而碱解氮、速效钾、有效镁含量、脲酶和酸性磷酸酶活性与 pH 则为负相关。由于各种土壤性质之间存在复杂的相互作用，土壤 pH 变得过低或过高时，土壤整体养分肥力均会下降，对荔枝的生长均有不良影响。因此，只有当各种土壤性质协调时，荔枝植株才会

有最好的生长表现。在荔枝盆栽试验中，施用 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理的荔枝生长最好。与 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理相比，对照植株的生物量增量显著降低，叶片数和茎粗也整体显著下降；施用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理的荔枝生长前期明显差于对照，后期虽然差距缩小，但在收获时也仍稍差于对照；施用 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理的植株各项生长指标均显著降低， $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的生长则受到更大的抑制。

在培养试验中， $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理土壤 pH 平均为 5.03，对照、0.5 和 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石灰处理土壤 pH 分别平均为 4.64、4.68 和 6.46。虽然 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 石

灰处理土壤平均 pH 稍高于对照,但由于加入石灰导致土壤其他性质前期波动较大,不利于荔枝的生长,直至移栽 300 d 后仍稍有抑制。人为添加酸性或碱性物质使土壤 pH 大幅改变时,对土壤细菌也会产生较大影响^[33],从而影响土壤生物质量,对植物生长也产生不良影响。因此,施用石灰改良土壤 pH 的好处会在一定程度上被土壤性质的明显波动而抵消,只有施用适量的石灰才能达到改良土壤 pH、促进荔枝生长的目的。另外,不同处理土壤各种性质在 0 ~ 60 d 期间有较大变化,但在 60 ~ 120 d 期间, pH 已变得较为稳定,土壤各种养分含量及酶活性整体也达到较为稳定的状态。因此,在不考虑荔枝根系生长对土壤 pH 影响的前提下,本研究初步提出适宜荔枝生长的土壤 pH 为 5.03 ± 0.58 。如土壤 pH 低于 4.64 或高于 6.46,则荔枝生长显著变差。

根据本课题组近年对四川省泸州市荔枝生产情况的调查,在合江县等地荔枝园发现中性紫色土上荔枝生长不良,具体表现为植株矮小,整株叶片明显黄化,并出现铁、锰和锌等多种

微量元素缺乏症状。20 多年树龄的荔枝产量极低,果实酸涩,几乎没有商品产量。因此,土壤 pH 对荔枝生产的影响,尚有待更多的认识和研究。

3.2 华南荔枝园土壤 pH 改良的迫切性

根据对华南 5 省区荔枝园土壤 pH 调查结果,近一半的荔枝园土壤为酸性,平均土壤 pH 为 4.64,恰好与本研究荔枝生长显著变差的土壤 pH 一致。如以 $pH \leq 4.64$ 和 ≥ 6.46 作为荔枝生长显著受抑制、急需改良土壤 pH 的临界点,以 5.03 作为荔枝生长最为适宜的土壤 pH 来初步衡量,则 5 省区共有 62.0% 的样点荔枝园土壤 $pH \leq 4.64$,迫切需要改良提高,而且平均需提高 0.68 个单位(表 6)。如此类推,广东有 56.8% 的荔枝园土壤 pH 急需平均提高 0.61 个单位,广西有 77.5% 的荔枝园土壤 pH 平均急需提高 0.74 个单位,福建和海南分别有 36.0% 和 20.0% 的荔枝园土壤 pH 平均急需提高 0.57 和 0.73 个单位。由此可见,广西荔枝产区土壤 pH 改良提高的需求最为迫切,而且需提高的幅度最大。

表 6 华南荔枝园土壤 pH 适宜性状况

项目	pH ≤ 4.64 的果园			pH 4.64 ~ 5.03 的果园			pH ≥ 6.46 的果园		
	数量	百分比 (%)	平均 pH	数量	百分比 (%)	平均 pH	数量	百分比 (%)	平均 pH
华南	284	62.0	4.35	111	24.2	4.80	7	1.5	6.95
广东	126	56.8	4.42	60	27.0	4.81	4	1.8	6.88
广西	145	77.5	4.29	28	15.0	4.79	2	1.1	7.14
福建	9	36.0	4.46	11	44.0	4.78	0		
海南	4	20.0	4.30	11	55.0	4.81	0		
云南	0			1	25.0	4.90	1	25.0	6.86

土壤 pH 在 4.64 ~ 5.03 的荔枝园,荔枝生长也会受到不同程度的影响,也需要改良提高土壤 pH。5 省区共有 24.2% 样点的荔枝园土壤需要改良提高 pH,广东、广西、福建、海南和云南需要改良土壤 pH 的荔枝园分别占当地采样荔枝园的 27.0%、15.0%、44.0%、55.0% 和 25.0%,各产区土壤 pH 均需平均提高 0.23 个单位左右。另外,5 省区 $pH \geq 6.46$ 的荔枝园极少,仅有个别荔枝园土壤 pH 需要降低。综上所述,我国除四川泸州中性或弱碱性土壤荔枝产区外,其他产区荔枝园土壤 pH 改良主要以提高土壤 pH 为主。

4 结论

华南 5 省区荔枝园土壤整体为酸性,土壤为强酸性、酸性、弱酸性、中性及弱碱性的荔枝园样点分别占 45.7%、48.0%、5.0%、1.1% 和 0.2%。其中,以广西荔枝园土壤 pH 整体酸性最强。在赤红壤中施入硫磺和不同用量石灰调节土壤 pH,在 pH 为 3.84 ~ 8.03 时,土壤碱解氮、速效钾、有效镁、脲酶和酸性磷酸酶活性与 pH 为显著负相关,有效磷、有效钙、有效铜则与土壤 pH 为显著正相关,有效锌、有效铁和有效锰与 pH 关系不密切。荔枝植株在土壤 pH 为 5.03 时生长最好,在 $pH \leq 4.46$ 或 $\geq$

6.46 时生长显著变差。如以 4.46 和 6.46 作为荔枝生长显著受抑制的 pH 临界点、以 5.03 作为荔枝生长适宜的土壤 pH 水平进行初步评价,则华南 5 省区酸性荔枝园土壤 pH 改良的任务迫切。

参考文献:

- [1] 广东省土壤普查办公室, 广东土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 137-138, 171-172.
- [2] Sato K, Takahashi A. Acidity neutralization mechanism in a forested watershed in Central Japan [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1996, 88 (3): 313-329.
- [3] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展 [J]. *土壤*, 2015, 47 (2): 238-244.
- [4] Goulding K W T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom [J]. *Soil Use and Management*, 2016, 32 (3): 390-399.
- [5] Raese J T. Response of apple and pear trees to phosphate fertilization: a compendium [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008, 29 (11-14): 1799-1821.
- [6] 尹永强, 何明雄, 邓明军. 土壤酸化对土壤养分及烟叶品质的影响及改良措施 [J]. *中国烟草科学*, 2008, 29 (1): 51-54.
- [7] 赵静, 李欣, 张鲜鲜, 等. 土壤 pH 值对黄金梨果实品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37 (27): 13037-13040.
- [8] 齐文娥, 陈厚彬, 李伟文, 等. 中国荔枝产业发展现状、趋势与建议 [J]. *广东农业科学*, 2016, 43 (6): 173-179.
- [9] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010.
- [10] Yang X D, Ni K, Shi Y Z, et al. Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 252 (15): 74-82.
- [11] Gui R, Wu W, Zhuang S, et al. Intensive management increases soil acidification and phytotoxic Al content in *phyllostachys praecox* stands in Southeast China [J]. *Journal of Sustainable Forestry*, 2018, 37 (1): 46-55.
- [12] Zhu Q C, De Vries W, Liu X J, et al. The contribution of atmospheric deposition and forest harvesting to forest soil acidification in China since 1980 [J]. *Atmos Environ*, 2016, 146: 215-222.
- [13] Lawrence G B, David M B, Shortle W C. A new mechanism for calcium loss in forest-floor soils [J]. *Nature*, 1995, 378: 162-165.
- [14] 陈志澄, 陈海珍, 黄辉, 等. 铝对亚热带果树幼苗生长影响的模拟研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2005 (S1): 34-37.
- [15] 李国良, 张政勤, 姚丽贤, 等. 广西壮族自治区与福建省荔枝园土壤养分肥力现状研究 [J]. *土壤通报*, 2012, 43 (4): 867-871.
- [16] 覃群明. 玉林市荔枝园土壤养分肥力状况分析与评价 [J]. *中国南方果树*, 2014, 43 (2): 82-85.
- [17] 孙娟, 李松刚, 魏志远, 等. 海南中西部荔枝园土壤养分分布特征 [J]. *广东农业科学*, 2013, 40 (10): 62-64.
- [18] 郭和蓉, 陈琼贤, 彭志平, 等. 荔枝施用营养型酸性土壤改良剂的增产改土效果 [J]. *长江大学学报 (自科版)*, 2005, 2 (8): 16-19.
- [19] 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. 150-227.
- [20] 关松荫. 土壤酶及其研究方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986. 296-312.
- [21] 全国土壤普查办公室, 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 843-984.
- [22] 甲卡拉铁, 李桂珍, 尧美英, 等. 攀西芒果园土壤 pH 值与有效养分的相关性研究 [J]. *中国南方果树*, 2011, 40 (4): 8-12.
- [23] 吴曦, 陈明昌, 杨治平. 碱性土壤施硫磺对油菜生长、土壤 pH 和有效磷含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13 (4): 671-677.
- [24] 文星, 李明德, 吴海勇, 等. 土壤改良剂对酸性水稻土 pH 值、交换性钙镁及有效磷的影响 [J]. *农业现代化研究*, 2014, 35 (5): 618-623.
- [25] 梅旭阳, 高菊生, 杨学云, 等. 红壤酸化及石灰改良影响冬小麦根际土壤钾的有效性 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22 (6): 1568-1577.
- [26] 徐畅, 高明. 土壤中镁的化学行为及生物有效性研究进展 [J]. *微量元素与健康研究*, 2007, 24 (5): 51-54.
- [27] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 石灰用量对酸性土壤 pH 值及有效养分含量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (4): 72-77.
- [28] 孟赐福, 傅庆林. 施石灰石粉后红壤化学性质的变化 [J]. *土壤学报*, 1995, 32 (3): 300-307.
- [29] 葛顺峰, 郝文强, 姜翰, 等. 烟台苹果产区土壤有机质和 pH 分布特征及其与土壤养分的关系 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30 (13): 274-278.
- [30] 范玉兰, 卢映琼, 李峰, 等. 赣南脐橙园土壤有效铜含量分布特征研究 [J]. *果树学报*, 2015, 32 (1): 69-73.
- [31] 杜彩艳, 祖艳群, 李元. 施用石灰对 Pb、Cd、Zn 在土壤中的形态及大白菜中累积的影响 [J]. *生态环境学报*, 2007, 16 (6): 1710-1713.
- [32] 石中山, 王春苗, 特拉津·那丝尔, 等. 重庆地区酸性紫色土锌有效性及其影响因素研究 [J]. *土壤*, 2010, 42 (2): 600-605.
- [33] Mobley H L, Hausinger R P. Microbial ureases: significance, regulation, and molecular characterization [J]. *Microbiological Reviews*, 1989, 53 (1): 85-108.
- [34] Fisher K A, Yarwood S A, James B R. Soil urease activity and bacterial ureC gene copy numbers: effect of pH [J]. *Geoderma*, 2017, 285: 1-8.
- [35] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009,

- 42 (2): 725–733.
- [36] Allison V J, Condron L M, Peltzer D A, et al. Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence, New Zealand [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39 (7): 1770–1781.
- [37] 李兆林, 赵敏, 王建国, 等. 施用生石灰对土壤酶活性及大豆产量的影响 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 2008, 24 (4): 480–484.
- [38] 徐冬梅, 刘广深, 许中坚, 等. 模拟酸雨对土壤酸性磷酸酶活性的影响及机理 [J]. *中国环境科学*, 2003, 23 (2): 176–179.

Soil pH status in litchi orchards and suitable soil pH for litchi growth in South China

QIU Quan-min, WANG Wei, WU Xue-hua, ZHOU Chang-min, BAI Cui-hua, YAO Li-xian* (College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural Sciences, Guangzhou Guangdong 510640)

Abstract: Soil acidification commonly occurs in China and soils are particularly in high acidity in South China. The present study aims to elucidate soil pH status in litchi orchards in South China and identify the suitable soil pH for litchi growth, providing support for soil pH amelioration in litchi orchards of China. 458 soil samples were collected in litchi orchards from litchi main producing areas including Guangdong, Guangxi, Fujian, Hainan and Yunnan provinces. The pH values of these soil samples were determined in solutions (soil : water = 1 : 2.5) and then evaluated. A typical latosolic red soil (pH 4.20) from a commercial litchi orchard in Guangdong province was used to simultaneously carry out a 120 d soil incubation and a 300 d litchi culture experiment, respectively. Six soil pH treatments were assigned by addition of $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ sulfur and 0.5, 1, 2 and $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ of lime, respectively. The soil without any amendment was included as the control. Effects of soil pH on soil fertility, enzyme activity and growth of litchi seedling were investigated. Soil pH in 458 litchi orchards varied from 3.85 to 7.82, with the average value of 4.64. Litchi orchards, with soil pH < 4.5, 4.5 ~ 5.5, 5.5 ~ 6.5, 6.5 ~ 7.5 and > 7.5, accounted for 45.7%, 48.0%, 5.0%, 1.1% and 0.2% of the total sampled orchards, respectively. Litchi orchards in Guangxi province had the lowest average soil pH. During the incubation, soil pH in the control, sulfur and 0.5, 1, 2 and $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ lime treatments averaged as 4.64, 4.25, 4.68, 5.03, 6.46 and 7.58, respectively. Sulfur application increased soil available P, Ca, Mg, Cu and Zn contents, however, reduced acid phosphatase activity (APA) and did not affect urease activity (UA). Liming decreased soil alkali-hydrolyzable N, available K, Zn and the activities of both soil enzymes, but enhanced soil available P, Ca and Cu. Totally, soil alkali-hydrolyzable N, available K, Mg, UA and APA significantly and negatively correlated to soil pH within the pH range of 3.84 ~ 8.03 during the incubation, with the Pearson coefficients of -0.529^{**} , -0.850^{**} , -0.579^{**} , -0.458^{**} and -0.872^{**} , respectively. However, significantly positive correlation was observed between soil available P, Ca, Cu and soil pH, with the Pearson coefficients of 0.380^{**} , 0.914^{**} and 0.375^{**} , respectively. Soil available Zn, Fe and Mn were not closely related to soil pH. Liming at the rate of $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ considerably promoted photosynthesis of litchi seedlings and enhanced leaf number, area and stem girth, leading to significantly increased plant biomass increment and amplification at harvest, as compared to all the other treatments. It is preliminarily suggested that the suitable soil pH for litchi growth was 5.03 ± 0.58 . Litchi growth may be significantly inhibited in soils with pH lower than 4.64 or higher than 6.46. If 5.03 was accepted as the optimum soil pH level, soil pH in 62.0% of the total sampled orchards might significantly suppress litchi growth, and needed to be improved by 0.68 pH unit as average. This indicates that soil pH improvement in litchi orchards from South China is urgently needed.

Key words: litchi; soil pH; soil nutrient; soil enzyme; liming