

果园土壤酸化及铝毒矫治的研究

许信玲¹ 肖祥希¹ 谢一青¹ 林剑榕²

(1 福建省林业科学研究院 福州 350012; 2 福建省闽侯县林业局 福建闽侯 350100)

摘要 模拟酸雨使得土壤 pH 下降, 土壤酸化加重, 土壤 pH 值分别比 CK 下降了 0.23、0.54、1.22、1.79, 活性 Al 含量分别比 CK 增加了 0.22%、14.33%、41.41%、66.38%, 交换性 K 含量下降了 0.01~0.08 cmol/kg, 交换性 Na 含量下降了 0~0.08 cmol/kg、交换性 Ca 含量下降了 0.14~0.31 cmol/kg、交换性 Mg 含量下降了 0~0.10 cmol/kg, 盐基总量下降了 6.1%~23.1%。MgSO₄、CaCl₂、KH₂PO₄、柠檬酸处理减少了土壤活性 Al 的溶出和盐基离子的流失, 也明显抑制了龙眼幼苗对 Al 的吸收, 当 Al 胁迫浓度为 0.185 mmol/L 时, 2 mmol/L Mg²⁺、Ca²⁺、PO₄³⁻ 和柠檬酸根处理下, 根、茎、叶的含 Al 量下降了 13.9%~39.2%、16.9%~39.7%、30.1%~41.0%; 当 Al 胁迫浓度为 1.850 mmol/L 时, 根、茎、叶的含 Al 量下降了 29.3%~51.3%、15.3%~39.7%、16.5%~42.5%。

关键词 土壤酸化; 活性铝; 铝毒矫治

中图分类号 S153; S667

铝是地壳中含量最高的金属元素, 红壤在其发育过程中富集了大量的 Al。资料表明, 土壤中大量 Al 的富集, 是导致土壤呈强酸性反应的重要原因, 同时也是土壤养分有效性低的一个重要原因^[1,2]。近年来, 随着全球环境的日益恶化, 许多地区已出现了酸雨危害。酸雨的频繁沉降, 加速了土壤酸化, 导致了土壤中 Al 的大量活化, 严重制约植物的生长^[3-6]。南方山地果园土壤多呈酸性, 而且大都分布在靠近交通便利、工业发达的地方, 酸雨的影响是不可避免的。本文从果园土壤酸化及矫治和水培条件下龙眼幼苗 Al 毒害的矫治两方面, 探讨龙眼 Al 毒害的矫治措施, 为防止龙眼果园土壤酸化和 Al 毒的矫治提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的土壤取自福建省林业科学研究院后山荔枝果园内, 土壤为花岗岩发育的红壤(俗称黄心土), 采集的土壤是未经人为破坏, 受耕作措施影响比较小的部分, 采集的土壤混合均匀后铺在玻璃温室的地面上(土质地面), 做成宽 1 m、长 9 m、高 20 cm 土床, 用塑料标签分割成长 1 m×宽 1 m 的 9 块, 其中 5 块供模拟酸雨淋洗试验用, 4 块供土壤酸化

矫治试验用, 并采集原始土样测定活性 Al 及养分含量。

1.2 方法

1.2.1 模拟酸雨的配置及动态淋洗 按闽南天然酸雨中硫酸根与硝酸根离子含量的物质浓度比(SO₄²⁻/NO₃⁻=5:1)^[7], 用日产 HORIBA pH METER (F-13) 将蒸馏水配成 pH 5.5、4.5、3.5、2.5 的 4 种不同酸度的模拟酸雨, CK 采用蒸馏水(pH 6.1), 每 2 天用喷壶淋洗 1 次土壤(每个处理淋洗范围为长 1 m×宽 1 m 土床), 每次用量 2 L, 50 天后分多点采集各处理土床中间层的土壤进行 pH、活性 Al 和盐基含量分析。

1.2.2 土壤酸化矫治试验 试验设置 Mg²⁺、Ca²⁺、PO₄³⁻ 和柠檬酸根处理, Mg²⁺ 用 MgSO₄, Ca²⁺ 用 CaCl₂, PO₄³⁻ 用 KH₂PO₄, 柠檬酸根用柠檬酸, 用水分别配成含 Mg²⁺、Ca²⁺、PO₄³⁻ 和柠檬酸根 2 mmol/L 的溶液, 溶液 pH 均用氨水调成 5.5, 每 2 天用喷壶浇 1 次土壤(每个处理浇的范围为长 1 m×宽 1 m 土床), 每次浇 2 L, 50 天后分多点采集各处理土床中间层的土壤进行 pH、活性 Al 和盐基含量分析。

1.2.3 土壤分析方法 土壤 pH 值用电位法, 以水浸提, 土水比例为 1:5, 然后用日产 HORIBA pH

①福建省林业厅“龙眼果园土壤酸化及铝毒改良技术研究”项目资助。

METER (F-13) 测定。土壤交换性 K、Na、Ca、Mg 用 1 mol/L 醋酸铵浸提, 原子吸收分光光度法测定; 活性 Al 用 1 mol/L KCl 浸提, 铝试剂比色法测定。

1.2.4 龙眼幼苗 Al 毒害的矫治 龙眼幼苗为乌龙岭, 采用苗龄为 2 个月左右的小苗, 在进行 Al 胁迫之前, 小苗先移入培养液进行恢复培养 80 天, 于 2001 年 1 月 23 日开始矫治试验。试验采用完全随机区组设计, Al 浓度设 0.185 mmol/L 和 1.850 mmol/L 两种, Ca^{2+} (用 CaCl_2)、 Mg^{2+} (MgSO_4)、 PO_4^{3-} (KH_2PO_4)、柠檬酸根(柠檬酸)设 0 和 2 mmol/L 两种浓度, 总共 8 种处理。Al 胁迫采用营养液 + Al 的方法, 营养液采用王仁玠 (1981) 的配方^[8], 用 1/4 浓度进行培养; 容器采用外壁漆黑的小塑料桶; 每桶 3 株, 每个处理 1 桶, 重复 3 次, 每桶装培养液 2 L, 每 14 天更换 1 次培养液, 更换培养液时调节 pH 至 4.2, 每天定时通气 3 次, 每次 20 min。胁迫 2 个月后, 分根、茎、叶进行 Al 含量的测定。Al 含量测定采用硝酸-高氯酸消煮^[9], 而后采用铝试剂比色法。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对果园土壤活性 Al 溶出及盐基含量的影响

模拟酸雨对果园土壤的影响见表 1。以 pH 6.1 的蒸馏水处理为 CK, 模拟酸雨使得土壤 pH 下降, 土壤酸化加重, pH 5.5、4.5、3.5、2.5 的模拟酸雨

淋洗下, 土壤的 pH 值分别比 CK 下降了 0.23、0.54、1.22、1.79, 活性 Al 含量分别比 CK 增加了 0.22%、14.33%、41.41%、66.38%, 可见随着模拟酸雨酸度的加大, 土壤 pH 的下降程度越大, 活性 Al 的溶出量越多, 土壤酸化越厉害; 同时模拟酸雨的淋洗导致盐基离子流失, 其中交换性 K 含量下降了 0.01 ~ 0.08 cmol/kg, 交换性 Na 含量下降了 0 ~ 0.08 cmol/kg、交换性 Ca 含量下降了 0.14 ~ 0.31 cmol/kg、交换性 Mg 含量下降了 0 ~ 0.10 cmol/kg, 盐基总量下降了 6.1% ~ 23.1%。但对于土壤本底值来说, 蒸馏水和 pH 5.5 的处理使得土壤 pH 有所升高, 活性 Al 含量有所降低, 其余各处理则使土壤 pH 下降, Al 大量活化; 对于盐基含量来说, 所有参试各处理都比土壤本底值有所下降。

2.2 果园土壤酸化的矫治

由表 1 还可以看出, MgSO_4 、 CaCl_2 、 KH_2PO_4 、柠檬酸处理减少了活性 Al 的溶出和盐基离子的流失。以蒸馏水处理为 CK, MgSO_4 、 CaCl_2 、 KH_2PO_4 、柠檬酸处理下, 土壤 pH 变化不大; 活性 Al 含量分别下降了 18.0% ~ 25.1%, 其中 Al 毒的矫治效果柠檬酸处理最好, CaCl_2 处理次之, 接下来是 KH_2PO_4 、 MgSO_4 处理; 土壤交换性 K 含量比 CK 增加了 0.06 ~ 1.07 cmol/kg, 交换性 Na 含量增加了 0.04 ~ 0.12 cmol/kg、交换性 Ca 含量增加了 0.47 ~ 0.79 cmol/kg、交换性 Mg 含量增加了 0.08 ~ 0.56 cmol/kg, 盐基总量增加了 46.0% ~ 72.0%。

表 1 模拟酸雨、 MgSO_4 、 CaCl_2 、 KH_2PO_4 、柠檬酸对土壤 pH、活性 Al 和盐基含量的影响

Table 1 Effect of simulated acid rain, MgSO_4 , CaCl_2 , KH_2PO_4 and citric acid on pH, active aluminum and base ions of soil

处理	pH (H ₂ O)	活性 Al (cmol/kg)	交换性盐基 (cmol/kg)				合计
			K	Na	Ca	Mg	
土壤本底	4.53	2.362	0.37	0.25	1.76	0.38	2.76
蒸馏水 (pH6.1, CK)	5.11	2.323	0.35	0.23	1.57	0.32	2.47
pH5.5 模拟酸雨	4.88	2.328	0.34	0.23	1.43	0.32	2.32
pH4.5 模拟酸雨	4.52	2.656	0.31	0.21	1.39	0.30	2.21
pH3.5 模拟酸雨	3.89	3.285	0.29	0.19	1.34	0.26	2.08
pH2.5 模拟酸雨	3.32	3.865	0.27	0.15	1.26	0.22	1.90
MgSO_4	5.12	1.905	0.41	0.27	2.04	0.88	3.60
CaCl_2	5.15	1.852	0.43	0.28	3.15	0.40	4.26
KH_2PO_4	4.95	1.883	1.42	0.31	2.10	0.42	4.25
柠檬酸	4.92	1.741	0.53	0.35	2.36	0.44	3.68

2.3 龙眼幼苗 Al 毒害的矫治

CaCl₂、KH₂PO₄、MgSO₄、柠檬酸各处理明显抑制了龙眼幼苗对 Al 的吸收(表 2)。当 Al 胁迫浓度为 0.185 mmol/L 时,根、茎、叶的含 Al 量分别比 CK (Al 0.185 处理)下降了 13.9%~39.2%、16.9%~39.7%、30.1%~41.0%,对 Al 吸收抑制效果最好的是柠檬酸,其次是 CaCl₂,而后是 KH₂PO₄、MgSO₄;当 Al 胁迫浓度为 1.850 mmol/L 时,根、茎、叶的含 Al 量分别比 CK (Al 1.850 处

理)下降了 29.3%~51.3%、15.3%~39.7%、16.5%~42.5%,对 Al 吸收抑制效果由大到小的顺序也是柠檬酸、CaCl₂、KH₂PO₄、MgSO₄。从根系 Al 含量来看,高浓度 Al (1.850 mmol/L)胁迫下,CaCl₂、KH₂PO₄、MgSO₄、柠檬酸各处理抑制根系吸收 Al 的效果明显好于低浓度 Al (0.185 mmol/L)胁迫条件下,根系 Al 含量下降的幅度明显高于低浓度 Al 胁迫条件根系 Al 含量的下降幅度。

表 2 MgSO₄、CaCl₂、KH₂PO₄、柠檬酸对 Al 胁迫下龙眼植株体内 Al 含量的影响 (g/kg)

Table 2 Effect of MgSO₄,CaCl₂,KH₂PO₄, and citric acid on Al content of Longan saplings under Al stress

处 理	根	茎	叶
Al0.185(CK)	0.684	0.237	0.266
Al1.850(CK)	1.278	0.320	0.334
Al0.185Ca2	0.554	0.167	0.174
Al1.850Ca2	0.753	0.257	0.211
Al0.185P2	0.573	0.188	0.175
Al1.850P2	0.889	0.267	0.248
Al0.185Mg2	0.589	0.197	0.186
Al1.850Mg2	0.903	0.271	0.279
Al0.185 柠檬酸 2	0.416	0.143	0.157
Al1.850 柠檬酸 2	0.623	0.193	0.192

注:处理中的数字代表 mmol 数,如 Al 0.185 即表示 0.185 mmol/L 的 Al。

3 讨论

3.1 模拟酸雨导致土壤酸化和 Al 活化

本试验结果表明:模拟酸雨导致土壤 pH 下降,活性 Al 大量活化和溶出,盐基离子流失,土壤酸化加重;酸雨 pH 越低,土壤 pH 下降幅度、Al 离子释放量和盐基离子流失量越大。这与俞元春等^[3, 10]、萧月芳等^[11]、郭朝晖等^[12]研究的结果相似。可见环境污染导致的酸沉降,对土壤酸化和 Al 活化的影响,应该引起重视。因此在果园选址上,应该考虑生态问题。

3.2 Al 毒害的矫治措施

MgSO₄、CaCl₂、KH₂PO₄、柠檬酸处理减少了土壤活性 Al 的溶出和盐基离子的流失,也明显抑制了营养液培养条件下龙眼幼苗对 Al 的吸收,龙眼幼苗根、茎、叶 Al 含量比单纯 Al 胁迫条件下减少,由此可以看出,MgSO₄、CaCl₂、KH₂PO₄、柠

檬酸对 Al 毒的矫治均有一定的效果。MgSO₄、CaCl₂、KH₂PO₄、柠檬酸处理下土壤交换性阳离子增加的可能原因是:处理中含有的阳离子使得该交换性阳离子增加;各处理抑制了土壤对 Al 的吸附,从而使得土壤对 K、Na、Ca、Mg 等阳离子吸附量增加,减少了 K、Na、Ca、Mg 等阳离子的流失;各处理条件下,K、Na、Ca、Mg 等阳离子从表面土壤或四周土壤向中间方向迁移。有关这方面的机制目前尚不清楚,有待于进一步研究。从本试验的结果看,对 Al 毒矫治效果最好的是柠檬酸,其次是 CaCl₂,而后是 KH₂PO₄ 和 MgSO₄。柠檬酸是一种有机酸,有机酸矫治 Al 毒主要通过有机酸与 Al 络合以降低 Al 的毒性,柠檬酸处理降低土壤活性 Al 的溶出,其作用机理是有机酸通过与 Al 形成有机络合物从而减少土壤对 Al 的吸附^[13];植物 Al 毒害的机理之一是抑制植物对 Ca、Mg 的吸收,因此 Ca、Mg 的施入可以缓解或减轻 Al 对植株 Ca、Mg

吸收的抑制;另外,Al 可以与 PO_4^{3-} 形成不溶性的沉淀从而降低 Al 的毒性。因此为了减少或避免山地红壤中过量 Al 对龙眼植株的毒害,可以采取相应的矫治措施,归纳为:①Al 毒害发生在酸性或强酸性土壤上,因此必须改良土壤,提高土壤的酸碱度。施石灰,既可以补充土壤的钙质,又可以降低土壤的酸度,是行之有效的措施之一;②有机肥中富含有机酸,因此在果园管理中应多施有机肥;③应重视 P 肥的施入,P 肥以钙镁磷肥为好,既可以对植株补充 Ca 素和 Mg 素,又可以补充土壤中的 P;④对叶面出现缺 Mg、缺 Ca 症状植株,应叶面喷施 MgSO_4 、 CaCl_2 。

参考文献

- 1 于天仁. 土壤化学原理. 北京: 科学出版社, 1987
- 2 李庆远. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983
- 3 俞元春, 丁爱芳. 模拟酸雨对酸性土壤铝溶出及其形态转化的影响. 土壤与环境, 2001, 10 (2): 87 ~ 90
- 4 Von Uexkull HR, Mutert E. Global extent development and economic impact of acid soils. Plant Soil, 1995, 171 (1): 1 ~ 15
- 5 Foy CD, Chaney RL, White MS. The physiology of metal of toxicity in plants. Annu. Rew. Plant Physiol., 1978, 29: 511 ~ 566
- 6 郭景恒, 张晓山, 汤鸿霄. 酸沉降对地表生态系统的影响 I. 土壤中铝的活化与迁移. 土壤, 2003, 35 (2): 89 ~ 125
- 7 汤大钢, 王玮, 庞燕波, 刘红杰. 氮氧化物在闽南地区酸雨中的贡献. 环境科学研究, 1996, 9 (5): 38 ~ 40
- 8 Lin Z, Myhre DL. Differential response of citrus rootstocks to aluminum levels in nutrient solutions II. Plant mineral concentrations. Journal of Plant Nutrition, 1991, 14 (11): 1239 ~ 1245
- 9 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准 LY/T 1270-1999. 北京: 中国标准出版社, 1999, 280 ~ 285
- 10 俞元春, 丁爱芳, 胡箭, 孟磊. 模拟酸雨对土壤酸化和盐基迁移的影响. 南京林业大学学报, 2001, 25 (2): 39 ~ 42
- 11 萧月芳, 史衍玺, 刘春生, 马玉增, 杨守祥, 宋国菡. 模拟酸雨对山东主要土壤类型理化性质的影响. 环境科学, 1997, (3): 26 ~ 29
- 12 郭朝晖, 黄昌勇, 廖柏寒. 模拟酸雨对红壤中铝和水溶性有机质溶出及重金属活动性的影响. 土壤学报, 2003, 40 (3): 380 ~ 385
- 13 徐仁扣, 季国亮. 低分子有机酸对可变电荷土壤中铝吸附的影响. 土壤学报, 2004, 41 (1): 144 ~ 147

ACIDIFICATION OF ORCHARD SOIL AND REMEDIATION OF SOIL ALUMINUM TOXICITY

XU Xin-ling¹ XIAO Xiang-xi¹ XIE Yi-qing¹ LIN Jian-rong²

(¹ Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012; ² Fujian Minhou Forestry Bureau, Minhou, Fijian 350100)

Abstract Simulated acid rain reduced pH of orchard soil and aggravated acidification of the soil. Compared with CK, the orchard soil decreased by 0.23, 0.54, 1.22 and 1.79 in pH, by 0.01 ~ 0.08 cmol/kg in content of exchangeable K, by 0 ~ 0.08 cmol/kg in content of exchangeable Na, by 0.14 ~ 0.31 cmol/kg in content of Ca, and by 0 ~ 0.10 cmol/kg in content of exchangeable Mg, but increased by 0.22%, 14.33 %, 41.41 %, and 66.38 % in content of active Al. Treatment of MgSO_4 , CaCl_2 , KH_2PO_4 and citric acid could reduce leaching of active Al and base ions from the soil and inhibit Longan saplings from absorbing Al. Treatment of 2 mmol/L Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 PO_4^{3-} and citric acid reduced the content of Al in roots, stems, and leaves, by 13.9 % ~ 39.2 % , 16.9 % ~ 39.7 % , and 30.1% ~ 41.0 % , respectively, when Al concentration was 0.185 mmol/L, and decreased by 29.3 % ~ 51.3 % , 15.3 % ~ 39.7 % , and 16.5 % ~ 42.5 % , respectively when Al concentration was 1.850 mmol/L.

Key words Soil acidification, Active Al, Remediation of soil Al toxicity