

油茶根系吸收铝导致生长介质酸化^①

曾其龙^{1,2}, 陈荣府¹, 赵学强¹, 董晓英¹, 沈仁芳^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 选用油茶为试验材料, 采用固体琼脂培养和溶液培养两种试验体系, 研究了油茶根系吸收铝离子与生长介质 pH 变化的关系。琼脂培养试验结果表明, 在钙离子和铝离子介质中, 油茶根际区域均发生了明显的酸化; 溶液培养试验结果进一步表明, 阳离子的吸收尤其是铝离子的吸收是介质酸化的原因, 铝与钙同时存在时, 溶液酸化主要是由铝离子的吸收引起的。另外, 随着溶液铝浓度的增加, 溶液 pH 下降幅度增加, 二者之间呈现极显著正相关关系, 且油茶培养时间越长, 溶液 pH 下降越多。所有这些结果表明油茶吸收铝会降低生长介质 pH。

关键词: 油茶; pH; 琼脂培养

中图分类号: S153.6

相关研究表明, 未开垦的土壤在种植茶树后土壤酸度增加, 并且高产茶园土壤的酸化现象较低产茶园更为明显, 密植茶园土壤 pH 低于稀植茶园土壤^[1-2]。关于茶园土壤酸化的原因可以分为人为酸化和自然酸化。人为酸化主要指人为活动引起的茶园土壤酸化, 其中茶树栽培中生理酸性肥料的过量使用导致的酸最为明显^[3-6]。自然酸化过程指茶树自身物质循环和根系代谢引起的土壤酸化。例如, 由于茶树根系分泌有机酸以及呼吸作用释放的 CO₂ 所引起的酸化^[7-8]; 也有研究表明茶树的凋落物对茶园土壤酸化有重要影响。丁瑞兴和黄晓^[9]研究了茶园枯枝落叶、大气降水以及茶树透冠水对茶园土壤酸化的影响, 通过元素平衡的计算提出茶树生长过程中的落叶对于茶园酸化有重要影响, 因为茶叶中含有大量的铝离子, 铝离子回归土壤的过程会明显降低土壤 pH。因此, 有研究者提出植物体内的矿质元素生物循环(吸收、转运、凋落等)对茶园土壤酸化有重要作用^[10]。然而, 关于茶园土壤酸化的主要原因, 目前观点仍不一致。

茶树是喜酸植物, 与一般植物不同, 茶树根系吸收大量的铝并累积至叶片。茶树生长过程中的铝吸收特性是否会对环境酸化有影响, 仍值得进一步研究。油茶(*Camellia oleifera* Abel.) 又名茶子树, 主要是指茶科茶属植物中油脂含量较高且有栽培经济价值的一类植物^[11]; 我们前期的研究结果表明, 油茶老叶

含铝量超过 13 500 mg/kg, 远高于当地的茶树铝含量^[12], 并且油茶吸收铝是一个快速、无能量消耗的过程^[13]。因此本研究选择油茶为材料, 通过室内琼脂和水培模拟试验, 研究油茶吸收铝对生长介质酸化的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

油茶种子采自于江西省鹰潭市中国科学院南京土壤研究所红壤生态实验站。种子利用 10% 的 H₂O₂ 消毒 30 min, 后浸入 0.5 mmol/L CaCl₂ 的溶液中过夜, 然后转移至湿的纱布黑暗下 25℃发芽, 纱布每两天浸湿一次。约 20 天后, 根长 5 cm 左右的种子移至装有 8 L 营养液的容器中, 培养 6 周以便油茶苗生长出 3 片完整叶。期间每周更换一次营养液, 营养液初始 pH 用稀 HCl 调节至 4.2。营养液的配方如下: 大量元素 (mmol/L): (NH₄)₂SO₄ 0.67、Ca(NO₃)₂ 0.33、KH₂PO₄ 0.033、K₂SO₄ 0.33、CaCl₂ 0.27、MgSO₄ 0.13; 微量元素 (μmol/L): ZnSO₄ 0.33、CuSO₄ 0.07、MnSO₄ 0.5、H₃BO₃ 3.33、(NH₄)₆Mo₇O₂₄ 0.17、Fe-EDTA 2.1。

1.2 琼脂培养体系油茶根际酸化

在含 0 或 100 μmol/L AlCl₃ 的 0.5 mmol/L CaCl₂ 溶液中加入 10 g/L 琼脂后溶解。60 mg/L 的溴甲酚紫 (C₂₁H₁₆O₅Br₂S) 用少量乙醇溶解后加入琼脂溶液,

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 30821140538、40901139、41025005) 资助。

* 通讯作者 (rfshen@issas.ac.cn)

作者简介: 曾其龙 (1984—), 男, 江西南昌人, 博士研究生, 主要从事植物营养研究。E-mail: qlzeng@issas.ac.cn

彻底混匀。用 1 mol/L HCl 在 pH 计(868, Thermo Orion, USA) 上将溶液 pH 调至 5.2, 并记录介质的颜色。在琼脂凝固(约 30°C)以前, 将准备好的琼脂介质倒进培养皿中, 0.5 mmol/L CaCl₂ 的溶液过夜培养的三叶油茶苗移植到该培养皿中, 2 h 后观察并记录琼脂介质颜色的改变。

1.3 CaCl₂ 溶液培养体系油茶根际酸化

选择根系生长一致的三叶油茶小苗研究铝、钙吸收与根际 pH 变化的关系。试验设置 5 个处理(pH 4.5), 分别如下: CaCl₂ 处理浓度为 0、0.5 mmol/L; 铝处理浓度为 50、100、200 μmol/L, 其中铝处理溶液在 0.5 mmol/L CaCl₂ 的体系中配制。50 ml 的离心管中装入 35 ml 处理液, 油茶苗在 0.5 mmol/L CaCl₂ 中过夜后, 转移至离心管中, 4、6 h 后测定溶液体系 pH, 同时试验结束后用 ICP-AES (IRIS-Advantage, Thermo Elemental, Mass, USA) 测定溶液体系中钙、铝的浓度。每个处理重复 4 次, 同时设置不种油茶苗的对照, 用于计算 pH 的变化以及钙、铝的吸收量, 即不种油茶苗的对照减去种油茶苗处理的差值。

1.4 营养液培养体系油茶根际酸化

设置不同铝浓度的营养液, 研究铝吸收与溶液 pH 的变化。营养液配制如上所述, 向营养液中添加 5 个铝浓度梯度 (pH 4.2), 分别为 0、50、100、150 以及 200 μmol/L。含铝营养液配制后, 吸取 120 ml 于塑料杯中, 并将三叶油茶小苗移入杯中, 6、24 h 后测定溶液体系中 pH 的变化。每个处理重复 4 次, 同时设置不种油茶苗的对照用于计算 pH 的变化, pH 的计算如上所述。

1.5 数据分析

数据分析在 Excel 2003 和 SPSS18.0 上完成。

2 结果与分析

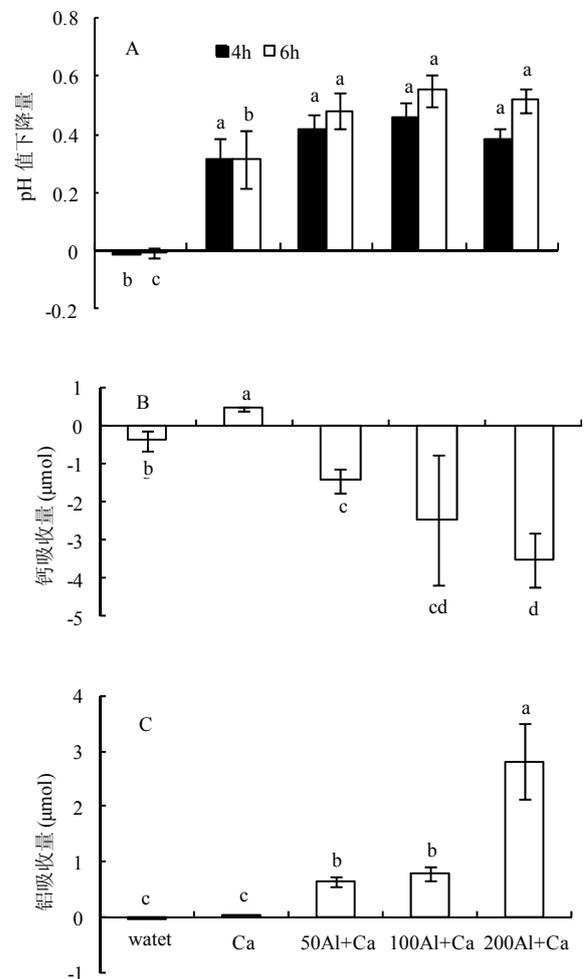
2.1 琼脂培养体系油茶根际酸化

琼脂培养试验可以清楚地观察和记录琼脂介质中颜色的变化。在添加 0 或者 100 μmol/L 铝的 0.5 mmol/L CaCl₂ 琼脂中, 处理 2 h 后, 琼脂的大部分区域仍然保持暗红色, 然而沿油茶根系的部分变成了黄色, 这表明根际发生了酸化, 且加铝的介质酸化更严重(未显示)。

2.2 CaCl₂ 溶液培养体系油茶根际酸化

纯水处理下溶液 pH 基本没有变化, 而其他处理溶液 pH 值都显著降低了(图 1A)。在不同的时间内, 无铝的钙处理在 4 h 和 6 h 之间 pH 下降值没有变化; 而加铝处理 6 h 的 pH 值下降量高于 4 h (图 1A)。图

1B 和 1C 结果表明, 铝离子的吸收量随着溶液铝浓度的增加而增多, 且铝处理条件下, 铝离子的吸收会引起钙离子的外排, 而该外排现象随着溶液铝浓度的升高而加剧。



(图中字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 下同)

图 1 油茶对 CaCl₂ 体系 pH 变化的影响 (A) 以及 6 h 时油茶对溶液中钙 (B) 和铝 (C) 的吸收

Fig. 1 Effects of oil tea seedlings on pH value of CaCl₂ solution (A), Ca (B) and on Al (C) absorption of oil tea seedlings from the culture medium in 6 h.

2.3 营养液培养体系油茶根际酸化

在不同铝浓度的营养液体系中, 油茶也降低了溶液 pH; 在 150 和 200 μmol/L 铝处理下, pH 下降值显著高于其他处理; 随着营养液铝浓度的增加, 溶液 pH 下降的幅度增大, 同时 24 h 时的溶液 pH 的下降幅度高于 6 h (图 2A)。如图 2B 所示, 不同铝浓度与溶液 pH 下降存在正相关关系; 并且随着时间的推移, 两者之间的变化斜率由 0.0018 变化为 0.0024, 也即油茶培养时间越长, 溶液 pH 下降越快。

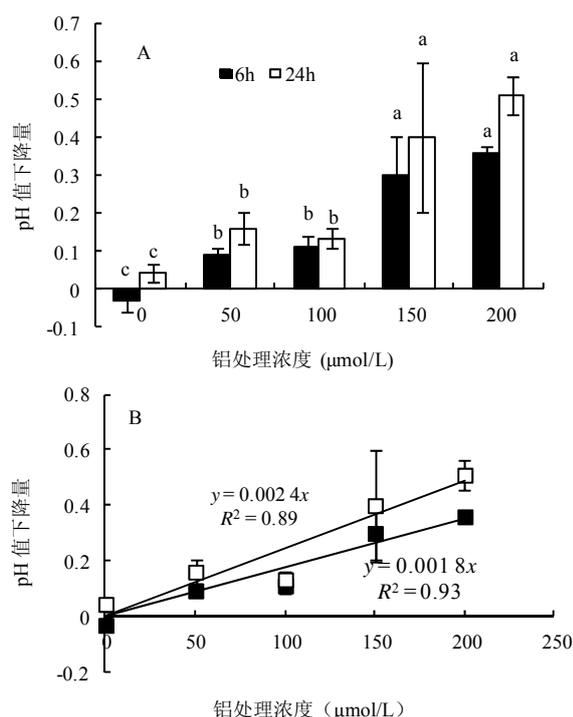


图 2 油茶对营养液体系 pH 变化的影响 (A) 以及介质 pH 降低量与铝浓度的相关分析 (B)

Fig. 2 Effects of oil tea seedlings on pH value of nutrient solution (A) and relation between Al concentration and pH decrease in solution (B)

3 讨论

在通常情况下,为了维持细胞内的电荷平衡,在根系对矿质元素的吸收过程中,细胞会向介质中分泌相应的电荷^[14]。琼脂染色试验结果直观地表明,油茶培养在铝和钙两种阳离子介质中会酸化根际(未显示),该酸化结果是由于油茶对铝离子和钙离子吸收而引起的,因为在纯水条件下,油茶根系对溶液 pH 没有影响(图 1A)。但是铝与钙同时供应,这种 pH 的下降则是主要由根系铝离子吸收而引起的,因为在铝与钙同时供应的条件下,根系铝离子的吸收会引起钙离子的外排(图 1B 和 1C)。在营养液体系中添加不同浓度的铝,油茶吸收 6 或 24 h 后,溶液 pH 的降低量与溶液中铝浓度存在正相关关系,并且随着油茶培养时间的增加,溶液体系中 pH 降低幅度越大(图 2)。这些结果说明油茶在吸收铝离子过程中会降低溶液 pH。一般认为土壤 pH 的降低,会提高土壤中铝的有效性^[15-17]。阮建云等^[18]报道,即使不施用生理酸性肥料,茶树根际区域土壤相对于土体也明显酸化,铝的有效性大大提高。油茶作为铝累积植物,老叶中铝含量高达 13 500 mg/kg,对铝具有很强的吸收能力^[12],油茶

铝吸收过程引起的根际酸化可以提高根际区域中活性铝含量,这可能在油茶吸收铝的过程中起着重要作用。因此可以推测:油茶吸收大量铝后,土壤酸化加重,又提高了土壤中铝的有效性,油茶又可以吸收铝,从而形成一个循环。这样,种植油茶的土壤会不断酸化,这可能是油茶酸化土壤的重要原因之一。

参考文献:

- [1] 魏国雄. 茶树与土壤酸碱度. 土壤肥料, 1979(6): 20-21
- [2] 孙继海, 吴于铭. 茶叶土壤活性酸度动态, 土壤酸化及最适酸度的初步研究. 土壤肥料, 1980(3): 16-22
- [3] Tachibana N, Yoshikawa S, Ikeda K. Influences of heavy application of nitrogen on soil acidification and root growth in tea fields. Japanese Journal of Crop Science, 1995, 64: 516-522
- [4] 徐仁扣, Coventry DR. 某些农业措施对土壤酸化的影响. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388
- [5] Ruan JY, Ma LF, Shi YZ, Zhang FS. Effects of litter incorporation and nitrogen fertilization on the contents of extractable aluminium in the rhizosphere soil of tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). Plant and Soil, 2004, 263: 283-296
- [6] Ruan JY, Ma LF, Shi YZ. Aluminium in tea plantations: Mobility in soils and plants, and the influence of nitrogen fertilization. Environmental Geochemistry and Health, 2006, 28(6): 519-528
- [7] Van Breemen N, Mulder J, Driscoll C. Acidification and alkalization of soils. Plant and Soil, 1983, 75(3): 283-308
- [8] Hinsinger P, Plassard C, Tang CX, Jaillard B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. Plant and Soil, 2003, 248: 43-59
- [9] 丁瑞兴, 黄晓. 茶园-土壤系统铝和氟的生物地球化学循环及其对土壤酸化的影响. 土壤学报, 1991, 28(3): 229-236
- [10] 郭琳. 茶园土壤的酸化与防治. 茶叶科学技术, 2008(2): 16-17
- [11] 张乃燕. 广西油茶良种化的现状及发展策略. 广西林业科学, 2003, 32(4): 211-213
- [12] Chen RF, Shen RF, Gu P, Wang HY, Xu XH. Investigation of aluminum-tolerant species in acid soils of south China. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 39: 1493-1506
- [13] Zeng QL, Chen RF, Zhao XQ, Wang HY, Shen RF. Aluminium uptake and accumulation in the hyperaccumulator *Camellia oleifera* Abel. Pedosphere, 2011, 21(3): 358-364
- [14] Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding K, Vitousek PM, Zhang FS. Significant acidification

- in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327: 1008–1010
- [15] 王宁, 李九玉, 徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理. *安徽农学通报*, 2007, 13: 48–51
- [16] Fung KF, Carr HP, Poon BHT, Wong MH. A comparison of aluminum levels in tea products from Hong Kong markets and in varieties of tea plants from Hong Kong and India. *Chemosphere*, 2009, 75(7): 955–962
- [17] 沈仁芳主编. 铝在土壤-植物中的行为及植物的适应机制. 北京: 科学出版社, 2008: 4–14
- [18] 阮建云, 马立锋, 石元值. 茶树根际土壤性质及氮肥的影响. *茶叶科学*, 2003, 23(3): 167–170

Acidification of Growth Medium Under Al Absorption by Roots of Oil Tea

ZENG Qi-long^{1,2}, CHEN Rong-fu¹, ZHAO Xue-qiang¹, DONG Xiao-ying¹, SHEN Ren-fang¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Long-term cultivation of camellia plants can lead to soil acidification, but the main mechanisms are still unclear. Oil tea (*Camellia oleifera* Abel.) of camellia as an Al accumulator was selected to investigate the effects of Al absorption on medium acidification by agar culture and hydroponic culture. The results showed that rhizospheres of oil tea were acidified in agar medium with Ca ion or Al ion. The absorption of cations, especially Al ion, was the reason of medium acidification, and when Al and Ca co-existed, medium acidification was primarily caused by the absorption of Al ion. In addition, with the increase of Al concentration in solution, the decline of pH value increased significantly, and there was a positive correlation between pH decrease and Al concentration. The longer culturing time increased pH reduction. These results indicated Al absorption by oil tea could induce pH decrease of growth medium.

Key words: Oil tea (*Camellia oleifera* Abel.), pH, Agar culture