

文章编号: 1000-5862(2012)03-0321-05

钙对铝胁迫下茶树钙铝及部分矿质营养吸收积累的影响

段小华^{1,3}, 胡小飞¹, 邓泽元^{1,2*}, 陈伏生²

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047; 2. 南昌大学高等研究院生命科学与食品工程学院, 江西 南昌 330031; 3. 江西师范大学生命科学学院, 江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 江西 南昌 330022)

摘要: 以福鼎大白一年生茶树(*Camellia sinensis*)扦插苗为材料, 研究了钙在铝胁迫下对茶树钙铝及其他矿质营养吸收积累的影响。结果表明: 适量的铝添加(10 mg/L 和 20 mg/L)能促进茶树对铝的吸收和积累, 铝添加降低根对钙的吸收但不影响茎和叶对钙的积累。而钙添加降低茶树各器官对铝的吸收和积累, 增加钙的吸收和积累。适量铝添加能促进茶树根、茎和叶(老叶和茶叶)对钾和铁的吸收与积累, 降低根对镁和锌的吸收与积累, 但茎和叶中镁和锌的含量继续增加。钙增加茶树对钾的吸收和积累, 对铁没有明显的影响。钙降低茶树对镁和锌的吸收和积累, 但仍高于对照组。综合来看, 在铝胁迫下, 增加培养液中钙的浓度能够降低茶叶中铝的含量, 增加茶叶中钙的含量, 对其他矿质元素的利用没有不利影响。因此, 在茶园中适当增施钙可以降低茶叶中铝的含量, 提高茶叶的安全性。

关键词: 铝; 钙; 茶树; 矿质营养

中图分类号: Q 945.78

文献标志码: A

0 引言

茶是一种在中国具有悠久历史的饮料, 被认为是一种健康饮料^[1]。茶树(*Camellia sinensis*)是一种喜生于酸性富铝化土壤的富铝植物, 在我国南方的丘陵红壤区广泛种植。由于茶树自身代谢、茶园管理以及酸沉降等生态环境问题, 导致茶园土壤酸化加剧^[2-3], 土壤中可溶性铝含量增加, 对茶树生长、茶叶铝安全造成很大的威胁^[4]。通常茶叶中铝含量很高, 达 5~16 g/kg^[5]。茶水中铝含量也达到 1~6 mg·L⁻¹, 而在大多数国家, 一般平均每人每日摄入的铝为几毫克左右, 所以认为茶叶是铝摄入的主要饮食来源^[6], 茶叶铝对人类健康的负面影响越来越受到关注。已有研究表明, 喝茶导致老年痴呆症^[7-8]。因此, 如何降低茶叶中铝的含量是目前急待解决的问题。

钙是植物生长发育所必需的营养元素和植物细胞的结构物质, 具有稳定和保护细胞质膜结构和功能的作用; 又是耦联植物胞外信号与胞内生理生化反应的第二信使, 调节植物对环境变化的响应过程^[9-12], 对植物的生长发育具有重要的意义。有关土壤铝毒和植物钙素营养的关系已有报道, 土壤中过量铝的累积可使植株对钙的吸收减少^[13]。Chibiliti 等^[14]的溶液

培养实验表明, 高浓度铝使奈马格桃枝梢 Ca、Zn、Cu、Fe、Mo 的含量及根部 Ca、K、Mo、Zn、Cu 的含量降低, 而钙对溶液中高质量浓度铝的毒性有减轻作用, 减少了桃枝梢中铝的积累。但钙对茶叶铝含量和其他矿质营养的影响却未见报道。本研究旨在探讨钙对铝胁迫下茶树钙铝和其他矿质元素吸收积累的影响, 以期为提高茶叶安全提供资料。

1 材料和方法

1.1 材料

试验用 1 年生茶树扦插苗(品种为“福鼎大白”)购于江西省茶树良种繁育基地, 平均地径为 0.24 cm, 平均苗高为 26 cm。

1.2 茶苗培养及处理

选取生长一致的 1 年生茶苗, 用蒸馏水洗净附着于根部的泥土后, 将其插入已装有 1.5 L 营养液(含改良 Hoagland 大量元素和 Arnon 微量元素)的黑色有盖塑料桶内, 每桶 3~4 株。置于人工气候箱中培养, 培养温度 25 °C, 光照强度 7 920 lx, 光照时间

收稿日期: 2011-12-11

基金项目: 国家自然科学基金(31060081)资助项目。

作者简介: 邓泽元(1963-), 男, 江西瑞金人, 教授, 博士, 主要从事食品营养和功能食品研究。

16 h/d, 湿度 80%. 连续充气, 隔天补充失去的水分, 每周定期更换 1 次营养液. 预培养 1 周后开展铝浓度和钙浓度双因素多水平完全随机化试验. 其中 Al 浓度设置为 0、10、20、30 mg/L 4 个水平, 分别在培养液中添加相应量的 2 g/L $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液(以纯 Al 计); 钙浓度设置为 160(正常钙浓度)、240、320 mg/L 3 个水平, 分别在培养液中添加相应量的 4 g/L CaCl_2 溶液(以纯钙计), 共计组合成 12(4×3)个处理. 每天用 1 mol/L HNO_3 或 1 mol/L NaOH 溶液调节培养液 pH 值稳定在 4.2 左右. 试验共设 3 次重复.

培养 60 d 后, 按根、茎、老叶(处理前已存在的叶片)和茶叶(1 芽 2 叶)分别收集, 用蒸馏水洗净, 置于烘箱中 200 °C 杀青 2~3 min, 80 °C 烘干 1.5 h, 用研钵磨碎, 过 1 mm 筛, 装入自封袋中供实验用.

1.3 测定项目及方法

茶叶中 Al 含量测定采用石墨炉原子吸收光谱法^[15]. 钙及其它矿质元素含量用火焰原子吸收法测定. 根据干物质计算出铝及其他矿质元素在植株不同器官中的分配.

1.4 数据处理

采用 SPSS(13.0)软件进行双因素方差分析, 并用 LSD 检验对各处理平均数进行多重比较, 统计学差异显著性取 $P < 0.05$.

2 结果

2.1 钙对铝胁迫下茶树铝和钙吸收与积累的影响

铝处理组根和老叶中铝含量明显高于无铝处理组, 并且随着铝处理浓度的增加, 茶树根和老叶中铝含量稍有增加. 茎和茶叶中铝含量随着铝处理浓度的增加先增加后下降, 在铝处理浓度为 20 mg/L 时达到最大值. 在无铝条件下, 钙对茶树根、茎、老叶和茶叶中铝含量没有明显影响. 在同一铝浓度下, 随着钙处理浓度的增加, 茶树根和茶叶中铝含量下降, 茎和老叶中铝含量没有明显差异. 随着铝处理浓度增加, 茶树根中钙含量稍有下降, 茎和老叶中钙含量增加, 茶叶中钙含量先增加后下降, 在铝浓度为 20 mg/L 时达到最大值. 在无铝及同一铝浓度下, 随着钙处理浓度增加, 茶树根、茎、老叶和茶叶钙含量总体上增加. 结果见表 1.

2.2 钙对铝胁迫下茶树钾和铁吸收积累的影响

随着铝处理浓度增加, 茶树根、茎、老叶和茶叶中钾含量先增加后下降, 在铝浓度为 20 mg/L 时达到最大值. 在无铝及同一铝浓度下, 茶树根、茎、老叶和茶叶中钾含量随钙处理浓度增加总体上增加. 但根、茎和老叶中钾在不同钙处理之间差异不明显.

随着铝处理浓度的增加, 茶树根、茎和茶叶中铁含量先增加后下降, 在铝处理浓度为 20 mg/L 时在达到最大值, 老叶中铁含量没有明显变化. 钙对茶树各器官中铁含量没有明显影响. 结果见表 2.

2.3 钙对铝胁迫下茶树镁和锌吸收积累的影响

随着铝处理浓度的增加, 茶树根中镁含量稍有下降, 茎和茶叶中镁含量稍有增加, 老叶中镁含量没有明显变化. 在无铝及同一铝浓度下, 随着钙处理浓度的增加, 茶树根、茎和茶叶中镁含量总体上下降, 但在铝处理条件下, 茎和茶叶中镁含量与对照组(正常钙无铝处理组)相比没有明显差异或高于对照组, 而老叶中的镁含量没有明显变化. 钙对铝胁迫下锌的变化与镁的变化相似. 结果见表 3.

3 讨论

本文研究结果表明, 茶树铝的积累随外源铝含量的增加先增加后降低, 说明适量的铝有利于茶树根、茎和叶对铝的吸收和积累, 这与李海生等^[16]的研究结果相一致. 原因可能是提高培养液中铝离子的浓度, 可促进茶树吸收铝, 因为铝离子是茶树根系铝吸收的主要形态^[17]. 而高铝培养液却抑制茶树对铝的吸收与积累, 这可能是在高铝培养液中铝离子的量超出了茶树的耐受范围, 从而导致铝对茶树的毒害作用, 影响了根的吸收功能^[4,18]. 提高培养液中铝浓度会降低茶树对钙的吸收与积累(见表 1), 其原因可能是增强了铝与钙在其结合位点上的竞争力. 研究结果表明, 铝可竞争细胞膜上钙的结合位点^[19]. 钙浓度提高会降低茶树根对铝的吸收和积累, 改善茶树对钙的吸收, 茶树根、茎、老叶和茶叶中钙含量明显增加(见表 1). 其原因与增强了钙离子对铝离子在细胞膜结合位点的竞争能力, 降低了铝离子活度以及铝离子对钙离子通道的阻塞作用^[17], 增加钙离子进入胞内有关^[20].

总体上看, 适量铝添加(10 mg/L 和 20 mg/L)可促进茶树根、茎和叶(老叶和茶叶)对钾和铁的吸收和

积累(见表 2), 降低根对镁和锌的吸收与积累, 但茎和叶中镁和锌的含量继续增加(见表 3). 说明铝对茶树矿质营养的吸收没有不利的影响, 反而在不同程度上促进这些元素的吸收与积累, 这进一步证实了茶树的耐铝性. 然而在高铝作用下(30 mg/L), 却降低这些元素的吸收与积累. 这可能是因为铝浓度超出了茶树对铝的耐受范围, 对茶树根系产生毒害作用, 影响了根系对矿质元素的吸收与积累. 另外, 本研究还发现, 对不同矿质元素而言, 铝浓度增加对老叶和茶叶的影响不同, 钾的变化一致, 镁、锌和铁的变化不一致, 这可能与这些矿质元素在植物体内的移动性有关. 钾是移动性元素, 因此两者变化

一致; 镁虽是移动性元素, 但可能老叶对镁需求较少, 因此老叶镁的含量没有明显变化. 锌和铁属于难移动性元素, 因此老叶中的锌和铁没有明显变化. 本研究表明, 钙增加茶树对钾的吸收和积累, 对铁没有明显影响. 钙降低茶树对镁和锌的吸收和积累, 但在铝处理条件下, 茎和叶中镁和锌的含量仍不低于对照. 这些结果表明, 在铝存在的条件下, 增加培养液中钙浓度并不会影响茶树对这些元素的利用.

总之, 增加培养液中钙的浓度能够降低茶叶中铝的含量, 增加茶叶中钙的含量, 对其他矿质元素的利用没有不利影响. 因此, 在茶园适当增施钙可以降低茶叶中铝的含量, 提高茶叶的安全性.

表1 铝胁迫下钙对茶树钙、铝吸收积累的影响

Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	Al 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	7.36±0.20e	1.35±0.12d	6.61±0.27e	1.60±0.13gh
	240	7.55±0.20e	1.32±0.10d	6.73±0.31e	1.42±0.10h
	320	7.47±0.23e	1.38±0.09d	7.00±0.32de	1.71±0.12fgh
10	160	8.95±0.27bcd	1.57±0.14bcd	7.87±0.30abcd	2.78±0.12bc
	240	8.64±0.17d	1.64±0.09abcd	7.91±0.29abc	2.39±0.17cd
	320	8.47±0.23d	1.52±0.05cd	7.71±0.23bcd	2.08±0.14def
20	160	9.86±0.19a	1.97±0.14a	8.04±0.31abc	3.27±0.12a
	240	8.84±0.21cd	1.94±0.13a	7.67±0.32cd	3.19±0.17ab
	320	9.48±0.36abcd	1.95±0.06a	7.58±0.29cde	2.23±0.15de
30	160	9.75±0.29a	1.87±0.12ab	8.68±0.27a	1.88±0.11efg
	240	9.53±0.19abc	1.86±0.14abc	8.59±0.26ab	1.67±0.12fgh
	320	8.79±0.21d	1.75±0.08abc	8.62±0.24a	1.62±0.09gh
Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	1.57±0.08a	4.38±0.25h	12.87±1.08c	12.60±0.84e
	240	1.46±0.08ab	4.76±0.27gh	12.59±1.01c	15.58±1.03d
	320	1.58±0.065a	5.21±0.23fgh	14.85±0.87abc	17.26±0.79cd
10	160	0.97±0.06de	5.64±0.37efg	12.55±0.98c	15.94±0.69d
	240	1.15±0.10cd	5.87±0.40def	13.97±1.15bc	17.76±0.87bcd
	320	1.32±0.07bc	6.43±0.27cde	15.03±0.65abc	20.05±0.61b
20	160	0.78±0.06e	6.57±0.24cd	13.45±0.96c	16.82±0.93cd
	240	0.95±0.08de	6.86±0.31bc	14.14±0.79bc	17.60±0.53bcd
	320	0.97±0.08de	6.92±0.28bc	16.71±1.23ab	23.96±0.78a
30	160	0.53±0.04f	7.32±0.29abc	14.41±0.95bc	15.48±0.82d
	240	0.76±0.07e	7.64±0.21ab	16.59±1.12ab	17.42±0.95bcd
	320	0.89±0.04e	7.97±0.33a	17.59±1.21a	18.72±1.24bc

注: 表中数据为均值±标准误差; 同列不同小写字母表示处理间在0.05水平有统计学显著性差异, 表2、表3同.

表2 铝胁迫下钙对茶树钾和铁吸收积累的影响

Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	K 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	1.85±0.114d	2.58±0.11d	3.28±0.14c	4.32±0.08h
	240	2.11±0.098bcd	2.65±0.13d	3.30±0.08bc	5.04±0.15g
	320	2.23±0.087abc	2.72±0.09d	3.49±0.13ac	5.43±0.11ef
10	160	2.04±0.088cd	2.77±0.09cd	3.31±0.06bc	5.48±0.15ef
	240	2.31±0.129abc	2.89±0.17bcd	3.58±0.15abc	5.95±0.12bcd
	320	2.35±0.126abc	2.92±0.05bcd	3.63±0.04a	5.97±0.09abc
20	160	2.32±0.100abc	3.13±0.08abc	3.50±0.05abc	5.66±0.12cde
	240	2.36±0.097ab	3.24±0.12ab	3.61±0.07ab	6.15±0.10ab
	320	2.47±0.060a	3.33±0.10a	3.72±0.10a	6.31±0.05a
30	160	2.22±0.099abc	2.85±0.10cd	3.34±0.11abc	5.34±0.07fg
	240	2.26±0.111abc	2.91±0.07bcd	3.41±0.06abc	5.61±0.13def
	320	2.29±0.096abc	3.08±0.20abc	3.61±0.13ab	5.98±0.11abc

Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	Fe 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	2.35±0.12cd	0.38±0.03d	6.26±0.67a	7.03±0.35d
	240	2.21±0.15d	0.43±0.02d	6.16±0.34a	7.74±0.78d
	320	2.34±0.16cd	0.37±0.05d	6.85±0.38a	7.81±0.83cd
10	160	2.48±0.14cd	0.49±0.08d	6.64±0.30a	7.99±0.43cd
	240	2.41±0.09cd	0.46±0.03d	6.97±0.15a	8.15±0.51bcd
	320	2.52±0.20cd	0.51±0.04d	6.99±0.36a	8.29±0.08abcd
20	160	3.16±0.11ab	1.14±0.06ab	6.25±0.41a	9.65±0.66ab
	240	3.21±0.14a	1.21±0.09a	6.91±0.57a	9.42±0.58abc
	320	3.14±0.09ab	1.17±0.10a	6.93±0.36a	9.91±0.45a
30	160	2.74±0.13bc	0.98±0.07bc	6.87±0.38a	8.20±0.61bcd
	240	2.55±0.17cd	0.82±0.06c	6.88±0.42a	7.79±0.36cd
	320	2.63±0.16cd	0.83±0.08c	7.24±0.33a	8.59±0.47abcd

表3 铝胁迫下钙对茶树镁和锌吸收积累的影响

Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	Mg 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	4.68±0.16a	0.47±0.06cd	6.37±0.22a	7.71±0.13ef
	240	4.46±0.15ab	0.35±0.03de	6.21±0.23a	7.10±0.26g
	320	4.25±0.07bc	0.22±0.05e	6.04±0.18a	7.30±0.14fg
10	160	4.21±0.16bc	0.56±0.07c	6.79±0.20a	7.89±0.18cde
	240	4.12±0.15bc	0.53±0.05c	6.52±0.24a	7.41±0.12efg
	320	3.89±0.10cd	0.46±0.08cd	6.39±0.25a	7.29±0.14fg
20	160	3.54±0.10de	0.72±0.03ab	6.88±0.33a	8.40±0.17abc
	240	3.43±0.11ef	0.58±0.04bc	6.42±0.16a	7.98±0.23bcde
	320	3.14±0.12fg	0.44±0.05cd	6.49±0.21a	7.73±0.22def
30	160	2.76±0.09gh	0.86±0.04a	6.97±0.28a	8.80±0.18a
	240	2.56±0.11hi	0.75±0.07a	6.34±0.19a	8.29±0.22abcd
	320	2.31±0.12i	0.47±0.05cd	6.29±0.18b	7.96±0.24bcde

Al 处理/ (mg·L ⁻¹)	Ca 处理/ (mg·L ⁻¹)	Zn 含量/(mg·g ⁻¹)			
		根	茎	老叶	茶叶
0	160	0.27±0.017a	0.17±0.015def	0.10±0.007a	0.11±0.016d
	240	0.24±0.015ab	0.14±0.011f	0.10±0.009a	0.09±0.007ef
	320	0.22±0.013abc	0.12±0.013f	0.08±0.008a	0.06±0.008f
10	160	0.21±0.014abc	0.21±0.017cde	0.09±0.012a	0.14±0.018cd
	240	0.18±0.015bcd	0.20±0.012cde	0.09±0.014a	0.11±0.006de
	320	0.15±0.013cde	0.16±0.010ef	0.08±0.009a	0.10±0.020def
20	160	0.12±0.011de	0.25±0.014bc	0.10±0.015a	0.16±0.010bc
	240	0.11±0.017de	0.23±0.010bc	0.09±0.009a	0.13±0.019cde
	320	0.09±0.014e	0.22±0.020bcd	0.09±0.010a	0.10±0.017def
30	160	0.10±0.009de	0.27±0.015b	0.10±0.011a	0.31±0.023a
	240	0.09±0.008e	0.32±0.027a	0.09±0.009a	0.29±0.014a
	320	0.07±0.006e	0.34±0.026a	0.09±0.012a	0.19±0.013b

4 参考文献

- [1] Trevisanato S I, Kim Y I. Tea and health [J]. Nutrition Reviews, 2000, 58(1): 1-10.
- [2] 张永利, 孙力. 茶园酸化及其改良措施 [J]. 茶业通报, 2011, 33(4): 158-161.
- [3] Rengel Z. Aluminium cycling in the soil-plant-animal-human continuum [J]. BioMetals, 2004, 17: 669-689.
- [4] 段小华, 邓泽元, 胡小飞, 等. 模拟酸雨和外源铝对茶树铝及一些营养元素吸收积累的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 1936-1942.
- [5] Chenery E M. A preliminary study of aluminium and the tea bush [J]. Plant Soil, 1955, 6(2): 174-200.
- [6] Flaten T P. Aluminium in tea concentrations, speciation and bioavailability [J]. Coordination Chemistry Reviews, 2002, 228(2): 385-395.
- [7] Broe G A, Henderson A S, Creasey H, et al. A case-control study of Alzheimer's disease in Australia [J]. Neurology, 1990, 40(11): 1698-1707.
- [8] Forster D P, Newens A J, Kay D W, et al. Risk factors in clinically diagnosed presenile dementia of the Alzheimer type: a case-control study in northern England [J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 1995, 49(3): 253-258.
- [9] Bush D S. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling [J]. Annual Review Plant Physiology Plant Molecule Biology, 1995, 46(1): 95-122.
- [10] 蒋廷惠, 占新华, 徐阳春, 等. 钙对植物抗逆能力的影响及其生态学意义 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 971-976.
- [11] Pandey S, Tiwari S B, Upadhyaya K C, et al. Calcium signaling: linking environmental signals to cellular functions [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2000, 19(4): 291-318.
- [12] Richauer M, Tanner W. Effects of Ca^{2+} on amino acid transport and accumulation in roots of *Phaseolus vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1986, 82(1): 41-46.
- [13] 臧小平. 土壤铝毒与植物钙镁营养 [J]. 广西农业科学, 1997(2): 80-82.
- [14] Chibiliti G B, Byrne D H. Interaction of aluminum and calcium on Nemaguard peach seedling nutrient contents and growth in sand culture [J]. Scientia Horticulturac, 1990, 43(1/2): 29-36.
- [15] 肖乐勤. 石墨炉原子吸收光谱法测定水中的铝 [J]. 光谱实验室, 2006, 23(1): 66-68.
- [16] 李海生, 张志权. 不同铝水平下茶对铝及矿质养分的吸收与累积 [J]. 生态环境, 2007, 16(1): 186-190.
- [17] Sasaki M, Yamamoto Y, Matsumoto H. Lignin deposition induced by aluminum in wheat (*Triticum aestivum*) roots [J]. Physiological Plantarum, 1996, 96(2): 193-198.
- [18] Wa G A, Tsuma T, Keneko M. High toxicity of hydroxy-aluminum polymer ions to plant roots [J]. Soil Science Plant Nutrition, 1987, 33(1): 57-67.
- [19] Rengel Z. Role of Calcium in aluminum toxicity [J]. New Phytology, 1992, 121: 499-513.
- [20] 何龙飞, 沈振国, 刘友良. 铝胁迫对小麦根系液泡膜 ATP 酶、焦磷酸酶活性和膜脂组成的效应 [J]. 植物生理学报, 1999, 25(4): 350-356.

The Effects of Calcium Addition on Uptake and Accumulation of Calcium, Aluminum and Partial Mineral Nutrition of Tea Plants under Aluminum Stress

DUAN Xiao-hua^{1,3}, HU Xiao-fei¹, DENG Ze-yuan^{1,2*}, CHEN Fu-sheng²

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330047, China; 2. Institute for Advance Study, College of Life Sciences and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330031, China; 3. Jiangxi Subtropical Plant Resource Protection and Utilization Key Laboratory, College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: The effects of Ca addition on uptake and accumulation of Ca, Al and other mineral nutrition of tea plants were studied with one-year cutting seedlings of variety fudingdabai. The results showed that suitable Al addition ($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) increased Al uptake and accumulation of tea plants. Al addition decreased Ca uptake by roots of tea plants, but have no effects on accumulation of Ca in shoots and leaves. Ca addition decreased Al uptake and accumulation of tea plants, but increased Ca uptake and accumulation. Suitable Al addition increased uptake and accumulation of K and Fe of roots, shoots and leaves of tea plants, decreased uptake and accumulation of Mg and Zn of roots, but the content of Mg and Zn of shoots and leaves continue to increase. Ca addition increased uptake and accumulation of K and had no effects on Fe uptake and accumulation of tea plants. Ca decreased uptake and accumulation of Mg and Zn of tea plant. While Mg and Zn content of tea plants treated with Ca was not less than that of control (no Al addition and normal Ca). Taken together, suitable Ca can decreased Al content and increased Ca content of tea leaves, and had no effects on other mineral nutrition for the use of tea plants. Thus, application of Ca in tea garden can increase Ca and decrease Al content of tea leaves, and thus increase the security of tea leaves.

Key words: aluminum; calcium; tea plant; mineral nutrition

(责任编辑: 刘显亮)