

钙、锰、铝及与硼的协同胁迫对茶树的毒害效应

姚元涛, 陶吉寒*, 宋鲁彬, 田丽丽, 刘腾飞, 贾厚振

山东省果树研究所, 山东泰安271000

摘要: 采用砂培法研究了钙、锰、铝、硼及钙、锰、铝与硼的协同毒害胁迫对茶树生长与元素吸收的影响。结果表明, 钙、锰、铝、硼毒害胁迫显著降低茶树根系活力, 影响茶树根系的生长发育; 显著降低茶树光合速率和气孔导度, 增加了胞间二氧化碳浓度; 抑制新梢生长, 使新梢展叶数减小、节间距变短。各处理促进了茶树对处理元素的吸收, 且具有明显的协同作用。各处理对其他元素的影响为: 铝能促进茶树根系对磷的吸收, 硼和锰对磷的吸收却有一定的抑制作用; 锰和铝促进茶树根系和叶片中硫的吸收, 硼、锰和铝可促进根系中钾的吸收; 硼能显著促进茶树根系和叶片对镁的吸收, 其他处理显著抑制根系对镁的吸收, 促进叶片对镁的吸收; 各处理均显著抑制茶树根系和叶片对铁、锌的吸收。

关键词: 茶树; 胁迫; 生长; 钙; 锰; 铝; 硼; 毒害

Poison Effects of Synergistic Stress of Calcium, Manganese, Aluminum and Boron on Tea Plant

YAO Yuan-Tao, TAO Ji-Han*, SONG Lu-Bin, TIAN Li-Li, LIU Teng-Fei, JIA Hou-Zhen

Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000, China

Abstract: The synergistic effects of calcium, manganese, aluminum, boron, calcium, manganese, aluminum and boron on the growth and the elements of tea tree were studied by sand culture method. The results showed that the toxicity stress of calcium, manganese, aluminum and boron significantly decreased the activity of tea root, affected the tea root growth and development, decreased significantly the tea photosynthetic rate and stomatal conductance, increased intercellular CO₂ concentration; inhibited the growth of new shoots, number of shoot leaves decreased, and the internode length became shorter. Each treatment promoted the absorption of elements in tea plant and had a significant synergistic effect. The effects of different treatments on the other elements were: Al could promote the uptake of phosphorus in tea tree root; boron and manganese had a certain inhibition effect on the absorption of phosphorus; manganese and aluminum could promote the absorption of sulfur in roots and leaves of tea; boron, manganese and aluminum could promote the absorption of potassium in roots; boron could significantly promote the absorption of magnesium in roots and leaves; and the other treatments significantly inhibited the absorption of magnesium in roots, but promoted it in leaves; all treatments significantly inhibited the absorption of iron and zinc in roots and leaves of tea plant.

Key words: tea (*Camellia sinensis*); stress; growth; calcium; manganese; aluminum; boron; poison

钙、锰、铝、硼是茶树所必需的营养元素, 在茶树体内有着非常重要的作用。近年来, 由于南方茶园土壤酸化导致茶园不断出现锰、铝毒害现象(吴道铭等2013; 张永力和孙力2011; 蒋时姣等2015); 另一方面, 自南茶北引以来, 北方茶园面积扩展迅速, 但因为北方属于茶树次适宜生长区, 土壤pH偏高, 钙含量过高, 普遍存在钙毒害现象(姚元涛等2009)。受毒害严重的茶园将影响茶树的生长发育及产量和品质。因此, 钙、锰、铝元素毒害已成为茶园不可忽视的问题。硼既是茶树所必需的营养元素, 又与其他元素有较强的协同作用,

硼过量同样会对茶树产生毒害作用(赵玲娟等2013), 虽然硼在一定程度上可以缓解元素毒害症状, 但至今未见硼在茶树上缓解钙、锰、铝元素毒害症状的报道, 也未见到有关茶树钙、锰、铝元素毒害及与硼协同作用对茶树生长发育及营养元素吸收的研究报道。

收稿 2015-06-09 修定 2015-09-06

资助 山东省果树研究所所长科研基金(2013KY06)、山东名特优果品提质增效与标准化生产关键技术研究(2014CXZ04-1)和山东省现代农业产业体系(2060302-04)。

* 通讯作者(E-mail: sdtjh_69@163.com; Tel: 0538-8266516)。

本文研究茶树钙、锰、铝毒害胁迫及与硼的协同作用,旨在探明其对茶树生长发育和元素吸收的影响,为相关研究提供理论依据。

材料与方 法

1 试验材料与 设计

选择茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze.]一年生无性良种茶苗‘福鼎大白’,2013年11月栽种于口径直径22.5 cm、高23 cm聚乙烯盆内,每盆植茶4株,

用石英砂(10~20目和20~40目的石英砂按3:1的比例混合)固定,石英砂先用自来水冲洗多次,然后用工业浓盐酸浸泡4~6 d,再用自来水、去离子水依次冲洗多次,直至无氯离子反应为止(雷道才等1998)。盆栽茶苗放置于温室中,温室冬天白天通风透气,晚上封闭保温,其他季节昼夜都敞开,只起到避雨的作用。每周浇一次标准营养液,期间浇1~2次去离子水,盆底套一个塑料袋以防营养液和水的流失。

茶苗在标准营养液(表1,童启庆2000)条件下

表1 茶树标准营养液配方

Table 1 Formulation of standard nutrient solution prescribed for tea plant

元素	分子式	浓度/mg·L ⁻¹	元素	分子式	浓度/mg·L ⁻¹
氨态氮	(NH ₄) ₂ SO ₄	30.0	铁	Fe-EDTA	0.35
硝态氮	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	10.0	硼	H ₃ BO ₃	0.10
钙	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O, CaCl ₂ ·2H ₂ O	30.0	锌	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.10
磷	KH ₂ PO ₄	3.1	铜	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.025
钾	KH ₂ PO ₄ , K ₂ SO ₄	40.0	钼	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.05
镁	MgSO ₄ ·7H ₂ O	25.0	铝	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·16-18H ₂ O	10.80
锰	MnSO ₄ ·4H ₂ O	1.0			

Fe-EDTA应为[EDTA-2NaFe]-乙二胺四乙酸二钠铁,是乙二胺四乙酸二钠盐与硫酸亚铁形成的螯合物。

培养6个月后开始进行处理。试验设8个处理,分别是对照(标准营养液)、T₁(硼过量处理,浓度1 mg·L⁻¹)、T₂(钙过量处理,浓度150 mg·L⁻¹)、T₃(锰过量处理,浓度5.0 mg·L⁻¹)、T₄(铝过量处理,浓度54 mg·L⁻¹)、T₁T₂(硼1 mg·L⁻¹+钙150 mg·L⁻¹)、T₁T₃(硼1 mg·L⁻¹+锰5.0 mg·L⁻¹)、T₁T₄(硼1 mg·L⁻¹+铝54 mg·L⁻¹)。各元素过量处理的浓度均为标准营养液中相应元素浓度的5倍(根据预实验5倍浓度胁迫效果明显,又不会使茶树短时间内死亡),营养液中其他养分离子浓度保持不变。每个处理设4个重复。每个处理4盆,每盆种4株茶苗,每个处理共计16个样本,砂培盆放在温室内。种苗后每周浇一次营养液(去离子水配制),每种处理营养液浇灌前用1 mol·L⁻¹ NaOH调节pH到5.5,每次浇营养液前用去离子水冲洗3~5次,将上次残留营养液冲洗干净,再浇灌新的营养液,中间统一浇1~2次去离子水。

2 主要仪器设备

CIRAS-1型光合仪; NUScan700平板扫描仪+Delta-Tcan SCAN根系分析系统; WFX-IE2型原子吸收分光光度计; UV-2450型紫外可见分光光度计; RF-5301荧光分光光度计; FA1004A型电子天平;

PHSJ-4A型pH计; 烘箱(DHG-9140A型); HL-2000型粉碎机; 消化炉(Q/IDVQ)。

3 测定项目与方法

于2014年9月份采摘各处理样品上叶龄、叶位基本相同的成叶和根系,按GB/T8303-2002处理,原子吸收分光光度法测定K、Na、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn(中国土壤学会农业化学专业委员会1983); 姜黄素法测B含量(中国土壤学会农业化学专业委员会1983); 8-羟基喹啉荧光分光光度法测定Al含量(于宁等2000); 硫酸钡比浊法测硫含量(严红梅等2008); 钼蓝比色法测P含量(李玉盛和何延红1992); 靛酚蓝比色法测N含量(戴建军等2000)。CIRAS-1型光合仪测定叶片光合参数。NUScan700平板扫描仪扫描,用Delta-Tcan SCAN根系分析系统进行分析测定根系形态参数; TTC法测定根系活力。

实验结果

1 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树的新梢及叶片生长状况

由表2可知,各处理新梢数均多于对照,平均

表2 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树新梢及叶片生长状况

Table 2 The growing status of tea shoots and leaves under calcium, manganese, aluminum and boron stress

编号	新梢数/个	新梢长度/cm	新梢展叶数/个	新梢节间长/cm	叶面积/cm ²	叶片病斑数/个
对照	11 ^b	20.5 ^a	8	2.9 ^a	30.7 ^c	0
T ₁ (B过量)	13 ^{ab}	18.6 ^a	6	2.6 ^b	35.7 ^b	0
T ₂ (Ca过量)	14 ^{ab}	11.2 ^b	7	1.8 ^c	34.6 ^b	49 ^a
T ₃ (Mn过量)	14 ^{ab}	10.2 ^b	6	1.8 ^c	31.5 ^c	38 ^b
T ₄ (Al过量)	15 ^a	11.3 ^b	7	1.7 ^c	29.4 ^d	31 ^c
T ₁ T ₂ (B+Ca)	13 ^{ab}	10.0 ^b	6	1.7 ^c	25.9 ^e	43 ^{ab}
T ₁ T ₃ (B+Mn)	17 ^a	11.4 ^b	5	2.3 ^b	44.5 ^a	34 ^c
T ₁ T ₄ (B+Al)	14 ^{ab}	10.8 ^b	5	1.1 ^d	36.2 ^b	32 ^c

以上数据为测定的16个样本的平均数。不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下表同此。

展叶数低于对照, 但差异不大; 各处理的新梢长度、节间长度测定值均显著低于对照, 其新梢长度减小幅度最小的是B单独过量处理(T₁), 减幅最大的是Al、B同时过量的处理(T₁T₄), 其它处理之间的下降幅度差异不显著。由此说明, 由于B、Ca、Mn和Al离子过量, 对新梢生长势产生明显的抑制作用, 导致新梢展叶数减小、节间距和新梢长度变短, 其中以Al和B的协同作用效应最为显著。各处理叶片的叶面积测定值与对照相比没有

一定的规律。Ca、Mn、Al及与B的协同胁迫处理茶树叶片上均出现绿色突起的病斑, 病斑大小不一, 其中Ca单独过量处理病斑数明显多于其他处理, Al过量及Al与B的协同作用处理病斑数显著低于其他处理, B单独过量处理茶树叶片未发现有病斑或其他症状出现。

2 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树的根系生理状况

从表3可以看出, 各处理茶树的根系活力均显

表3 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树根系生理状况

Table 3 The physiological status of tea roots under calcium, manganese, aluminum and boron stress

编号	根系活力/OD ₄₈₅ ·g ⁻¹ (FW)	根表面积/mm ²	根尖数/个	根总长/mm	根直径/mm	根干重/g
对照	98.2 ^a	9 562.7 ^a	8 412.9 ^a	33 522.6 ^a	0.29 ^a	0.53 ^a
T ₁ (B过量)	63.4 ^b	4 315.2 ^d	4 253.6 ^d	17 670.5 ^d	0.24 ^b	0.32 ^d
T ₂ (Ca过量)	56.7 ^b	3 142.0 ^e	2 779.2 ^e	14 853.8 ^c	0.21 ^c	0.31 ^{de}
T ₃ (Mn过量)	35.1 ^d	5 322.0 ^e	6 087.5 ^e	24 860.3 ^c	0.22 ^c	0.36 ^c
T ₄ (Al过量)	51.6 ^b	3 316.6 ^e	2 687.3 ^e	12 435.3 ^{ef}	0.28 ^a	0.29 ^e
T ₁ T ₂ (B+Ca)	38.6 ^d	1 753.3 ^f	2 108.4 ^f	8 347.6 ^e	0.21 ^c	0.25 ^f
T ₁ T ₃ (B+Mn)	43.6 ^c	6 679.3 ^b	7 498.3 ^b	28 147.4 ^b	0.24 ^b	0.45 ^b
T ₁ T ₄ (B+Al)	32.3 ^d	2 294.6 ^f	2 912.1 ^e	11 578.1 ^f	0.21 ^c	0.32 ^{de}

著低于对照, 说明各元素胁迫导致茶树根系活力显著降低。各处理的根表面积、根尖数、根总长、根直径和根干重各项生理指标也显著低于对照组(除处理T₄根直径与对照相同外), 说明各元素胁迫导致茶树根系损伤严重, 严重影响了根系的正常生长发育。各处理之间差异显著, 其中单离子过量对根系生理状况的影响大小依次为Ca>Al>Mn>B, 这种作用力大小是由于离子的差异还是由于离子浓度不同导致的还有待进一步研究。此外, B与Ca、Al、Mn协同作用的影响显著大于单离子

过量, 说明B和Ca、Mn、Al对茶树根系具有协同伤害作用。

3 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树的光合生理变化

从表4可以看出, 净光合速率(P_n)各处理均显著低于对照, 其中以B、Ca同时过量的处理(T₁T₂)降低幅度最大, B、Ca单独过量的处理(T₁和T₂)的降低幅度最小, Mn、Al单独过量与和B同时过量的各处理(T₃、T₄、T₁T₃和T₁T₄)之间差异不显著。以上结果表明, B和Ca对茶树 P_n 的降低有较强的协

表4 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下各处理茶树叶片光合指标的变化

Table 4 Changes of photosynthesis of tea leaves under calcium, manganese, aluminum and boron stress

编号	净光合速率/ mmol (CO ₂)·m ⁻² ·s ⁻¹	胞间CO ₂ 浓度/ μmol·mol ⁻¹	气孔导度/ mmol (CO ₂)·m ⁻² ·s ⁻¹	蒸腾速率/ mmol (H ₂ O)·m ⁻² ·s ⁻¹
对照	7.3±0.4 ^a	154.5±16 ^b	203.5±11 ^a	2.4±0.3 ^a
T ₁ (B过量)	5.2±1.6 ^b	216.0±17 ^a	183.3±20 ^b	2.3±0.5 ^a
T ₂ (Ca过量)	4.7±1.5 ^b	223.5±27 ^a	171.5±9 ^b	2.2±0.2 ^a
T ₃ (Mn过量)	4.1±0.7 ^{bc}	243.5±29 ^a	162.8±4 ^{bc}	2.2±0.1 ^a
T ₄ (Al过量)	4.3±0.9 ^{bc}	213.3±13 ^a	166.3±11 ^{bc}	2.2±0.2 ^a
T ₁ T ₂ (B+Ca)	3.4±1.5 ^c	225.8±21 ^a	154.5±16 ^c	1.7±0.5 ^b
T ₁ T ₃ (B+Mn)	4.1±1.2 ^{bc}	220.3±21 ^a	153.5±21 ^c	1.7±0.3 ^b
T ₁ T ₄ (B+Al)	4.2±1.6 ^{bc}	216.3±26 ^a	151.0±12 ^c	1.6±0.1 ^b

同作用, 而Mn与B及Al与B之间无明显的协同作用。胞间CO₂浓度(C_i)各处理显著高于对照, 但各处理间差异不显著。各处理气孔导度(G_s)显著降低。单独胁迫处理蒸腾速率与对照无明显差别, 协同处理蒸腾速率均显著低于对照。

4 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树体内营养生理变化

4.1 各胁迫元素在茶树体内的含量变化

由表5和表6可知, 无论是B的单离子过量(T₁)

还是B与Ca、Mn、Al的协同过量处理(T₁T₂、T₁T₃和T₁T₄), 茶树根系和叶片中的B含量都显著高于对照, 说明B过量处理会导致茶树对B的吸收增加。

根系中Ca含量以Ca、B单离子过量处理(T₂、T₁)的显著高于对照, 说明Ca过量处理可导致茶树根系对Ca的吸收增加, 同时B促进茶树根系Ca的吸收; 但Ca、B同时过量处理(T₁T₂)的Ca含量却略低于对照, 同时还显著低于B、Ca单独过量的处理(T₁和T₂)。这似乎与前面的结论相矛盾, 但从表3

表5 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树根系胁迫元素含量的变化

Table 5 Changes of stress elements in root of tea under calcium, manganese, aluminum and boron stress

处理	Ca含量/mg·kg ⁻¹	Mn含量/mg·kg ⁻¹	B含量/mg·kg ⁻¹	Al含量/mg·kg ⁻¹
对照	2 578 ^b	60 ^c	7 ^b	15 104 ^a
T ₁ (B过量)	2 873 ^a	72 ^b	12 ^a	9 741 ^d
T ₂ (Ca过量)	2 753 ^a	73 ^b	7 ^b	12 987 ^b
T ₃ (Mn过量)	2 152 ^c	103 ^a	8 ^b	7 612 ^e
T ₄ (Al过量)	2 412 ^{bc}	105 ^a	10 ^{ab}	4 487 ^f
T ₁ T ₂ (B+Ca)	2 547 ^b	65 ^c	12 ^a	11 452 ^e
T ₁ T ₃ (B+Mn)	2 312 ^{bc}	54 ^d	8 ^b	2 158 ^b
T ₁ T ₄ (B+Al)	1 716 ^d	48 ^e	12 ^a	3 214 ^e

表6 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树叶片胁迫元素含量的变化

Table 6 Changes of stress elements in leaves of tea under calcium, manganese, aluminum and boron stress

处理	Ca含量/mg·kg ⁻¹	Mn含量/mg·kg ⁻¹	B含量/mg·kg ⁻¹	Al含量/mg·kg ⁻¹
对照	6 317 ^d	1 035 ^d	73 ^b	5 974 ^d
T ₁ (B过量)	6 549 ^d	949 ^d	119 ^a	5 183 ^e
T ₂ (Ca过量)	9 798 ^a	916 ^d	65 ^b	7 785 ^b
T ₃ (Mn过量)	6 978 ^d	2 115 ^b	76 ^b	8 378 ^a
T ₄ (Al过量)	6 641 ^d	1 837 ^b	109 ^a	8 241 ^a
T ₁ T ₂ (B+Ca)	7 512 ^c	1 476 ^c	112 ^a	7 829 ^b
T ₁ T ₃ (B+Mn)	9 032 ^b	2 453 ^a	74 ^b	6 306 ^c
T ₁ T ₄ (B+Al)	7 463 ^c	2 125 ^b	102 ^a	5 441 ^d

可知, Ca、B同时过量处理(T₁T₂)的根系活力很低, 因此其根系中Ca含量低很可能是由于Ca和B对茶树的协同伤害作用抑制了根系对Ca的吸收。其他处理(T₃、T₄、T₁T₃和T₁T₄)茶树根系Ca含量均显著低于对照, 其可能的原因有三个: 第一, Mn、Al抑制茶树根系对Ca的吸收, 且抑制作用大小为Al>Mn; 第二, 由于离子过量对根系的伤害作用导致根系活力降低, 从而减少了根系对Ca离子的吸收量; 第三, 向地上部转移较多。由于上述处理的根系Ca含量的高低(表5)与根系活力(表3)呈显著正相关, 由此说明第二种可能性更大。叶片中Ca含量以Ca过量(T₂)处理最高, 并显著高于对照, Ca、B同时过量处理(T₁T₂)叶片中Ca含量显著低于钙过量处理(T₂), 说明B对茶树叶片中Ca的吸收有一定的抑制作用。

叶片中Mn含量以Mn单离子过量处理(T₃)和与B同时过量处理(T₁T₃)显著高于对照, B单离子过量处理(T₁)的根系中Mn含量高于对照, 但叶片中Mn含量却低于对照, 说明根和叶中Mn的过量吸收主要是Mn过量所致。此外, Al单离子过量(T₄)和与

B同时过量处理(T₁T₄)虽然使根系中Mn含量略有降低, 但在叶片中含量显著高于对照, 由此说明: Al过量也可促进茶树根系对Mn的吸收。B、Ca过量对茶树体内Mn含量的影响不显著。

各个处理的根系Al含量均显著低于对照, 但叶片Al含量都高于对照(除T₁和T₁T₄外), 这说明茶树根系处于离子过量逆境时, 会增加Al离子的向上运输以保护根系。与B、Ca、Mn过量处理(T₁、T₂和T₃)不同的是, Al过量处理(T₄)的根系和叶片中Al含量反而低于Ca、Mn过量处理(T₂、T₃)的, 说明Al对茶树根系活力影响较大(表3), 从而减少了根系对Al的吸收量。此外, 也可能是茶树根系在Al过量时产生了自我保护机制, 从而有效限制了根系对Al的吸收所致, 这方面还有待进一步研究。

4.2 胁迫元素对茶树体内其他元素含量的影响

由表7和表8可知, Ca、Al单离子过量处理(T₂、T₄)和Al、B同时过量(T₁T₄)可导致根系中P含量显著高于对照, 而B、Mn单离子过量处理(T₁、T₃)和B与Ca、Mn同时过量处理(T₁T₂、T₁T₃)则低

表7 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树根系其他元素含量的变化

Table 7 Changes of other elements in root of tea under calcium, manganese, aluminum and boron stress

处理	N含量/ mg·kg ⁻¹	P含量/ mg·kg ⁻¹	K含量/ mg·kg ⁻¹	Mg含量/ mg·kg ⁻¹	Fe含量/ mg·kg ⁻¹	Cu含量/ mg·kg ⁻¹	Zn含量/ mg·kg ⁻¹	Na含量/ mg·kg ⁻¹	S含量/ mg·kg ⁻¹
对照	24 253 ^b	3 198 ^c	21 013 ^d	7 005 ^b	2 149 ^a	45 ^b	3 741 ^a	785 ^{de}	3 786 ^b
T ₁ (B过量)	21 026 ^f	2 945 ^d	22 678 ^c	7 312 ^a	1 747 ^b	56 ^a	3 058 ^c	1 219 ^a	3 572 ^c
T ₂ (Ca过量)	23 574 ^{bc}	4 382 ^a	19 543 ^e	5 795 ^c	1 962 ^{ab}	38 ^d	2 198 ^d	856 ^{cd}	3 524 ^c
T ₃ (Mn过量)	22 978 ^d	2 617 ^{ef}	26 174 ^a	6 048 ^c	1 347 ^c	28 ^e	845 ^f	689 ^{ef}	4 118 ^b
T ₄ (Al过量)	23 452 ^c	2 453 ^f	25 117 ^b	5 298 ^{de}	1 765 ^b	33 ^e	1 342 ^e	591 ^f	3 994 ^b
T ₁ T ₂ (B+Ca)	24 135 ^b	2 859 ^{de}	19 256 ^e	4 852 ^c	1 824 ^b	42 ^c	3 487 ^b	812 ^{cd}	3 532 ^c
T ₁ T ₃ (B+Mn)	21 741 ^e	3 896 ^b	23 139 ^c	5 196 ^{de}	1 413 ^c	20 ^f	973 ^f	1 015 ^b	4 523 ^a
T ₁ T ₄ (B+Al)	25 857 ^a	4 399 ^a	24 118 ^b	5 547 ^{cd}	1 372 ^c	22 ^f	945 ^f	8 78 ^c	4 469 ^a

表8 钙、锰、铝及与硼的协同胁迫下茶树叶片非胁迫元素含量的测定

Table 8 Determinate elements in leaves of tea under calcium, manganese, aluminum and boron stress

处理	N含量/ mg·kg ⁻¹	P含量/ mg·kg ⁻¹	K含量/ mg·kg ⁻¹	Mg含量/ mg·kg ⁻¹	Fe含量/ mg·kg ⁻¹	Cu含量/ mg·kg ⁻¹	Zn含量/ mg·kg ⁻¹	Na含量/ mg·kg ⁻¹	S含量/ mg·kg ⁻¹
对照	39 145 ^a	3 013 ^a	16 132 ^a	3 104 ^d	689 ^a	15 ^a	36 ^a	283 ^d	2 542 ^c
T ₁ (B过量)	32 352 ^c	2 848 ^{ab}	13 458 ^b	3 247 ^c	542 ^b	14 ^a	21 ^b	457 ^c	2 801 ^c
T ₂ (Ca过量)	29 016 ^d	1 704 ^d	12 794 ^c	4 583 ^a	516 ^c	12 ^b	15 ^c	519 ^b	2 796 ^c
T ₃ (Mn过量)	35 479 ^b	2 053 ^c	14 569 ^b	4 176 ^b	527 ^c	15 ^a	14 ^c	428 ^c	3 528 ^b
T ₄ (Al过量)	36 045 ^b	2 524 ^b	14 123 ^b	3 635 ^{bc}	483 ^c	14 ^a	14 ^c	507 ^b	3 412 ^b
T ₁ T ₂ (B+Ca)	32 135 ^c	2 665 ^b	15 876 ^a	3 819 ^b	515 ^c	12 ^b	22 ^b	661 ^a	2 703 ^c
T ₁ T ₃ (B+mn)	32 576 ^c	2 207 ^c	12 152 ^c	3 937 ^b	673 ^a	14 ^a	15 ^c	636 ^a	3 841 ^a
T ₁ T ₄ (B+Al)	31 987 ^c	2 291 ^c	13 887 ^b	3 995 ^b	549 ^b	15 ^a	15 ^c	708 ^a	3 865 ^a

于对照,由此说明,Al能促进茶树根系对P的吸收,其次为Ca,而B和Mn对P的吸收却有一定的抑制作用,各处理的叶片P含量低于对照。Mn和Al及与硼的协同过量处理(T₃、T₄、T₁T₃和T₁T₄)都使根系和叶片中S含量高于对照,但以Al的作用更为显著。B、Mn和Al过量处理(T₁、T₃和T₄)使根系中K含量增加,而Ca过量处理(T₂)与对照差异不明显,各处理叶片K含量均低于对照。B过量处理(T₁)能显著提高根系和叶片中Mg含量,其它处理显著降低根系中Mg含量,却使叶片中Mg含量显著提高。各处理均显著降低茶树根系和叶片中Fe含量,其根系降低幅度各处理由大到小依次为Al>Mn>B>Ca。各处理根系和叶片Zn含量均显著低于对照,其中根系最低含量仅为对照的22%,而各处理叶片Zn含量则由对照的正常水平降至缺乏水平,由此说明:离子过量将显著影响茶树根系对Zn元素的吸收,其抑制作用大小为:Al>Mn>Ca>B。

讨 论

1 元素毒害对茶树的危害

B、Ca、Mn过量处理均能导致茶树根系和叶片对其过量吸收,Al过量处理能增加根系和叶片中Ca、Mn含量,但无Al的过量吸收,由此说明Al过量对茶树的伤害可能通过Ca、Mn的过量吸收而产生。此外,由于过量离子处理显著地降低根系活力,从而使离子吸收量减少,加之各离子之间的相互作用,各处理均显著地降低根系和叶片中Zn、Fe含量,使叶片中Zn含量处于缺乏水平,同时还降低了叶片中N、P、K含量和根系中Cu含量,所以,离子过量会同时导致一些营养元素的缺乏症,如Zn缺乏。已有研究表明,缺Zn时新梢发育不良,出现莲座叶丛,茎节短等症状(方兴汉1984),这与本研究中处理组茶树新梢测定的结果相一致。在锰素富集现象比较突出的红壤茶园,由于茶树体内Mn过量会阻碍三价铁离子(Fe³⁺)还原成二价铁离子(Fe²⁺),使大部分铁处于生理上不活跃的Fe³⁺状态,从而造成叶片Fe²⁺减少,引起茶树缺铁(Fe²⁺)的“锰毒害症”。在本研究试验过程中,能观察到个别茶树枝梢叶片白化的现象,其症状与缺铁症相

同,但各处理叶片中铁含量经测定数值并不低,在500~600 mg·kg⁻¹范围,其值虽然低于对照,但高于缺乏临界值。由此说明:Mn、Al过量处理会导致叶片铁离子有效性降低而发生缺铁症。

2 茶树元素中毒的防治

根据本研究,可相应提出以下防治钙锰铝元素过量的措施:(1)对于Ca元素含量过高的土壤,需增施有机肥以增加土壤阳离子交换量或添加离子螯合剂和客土的方法以减少土壤中交换性Ca离子含量。(2)对于因pH过低导致活性Al、有效Mn过量的土壤,可施用石灰调节土壤pH,使其达到茶树最宜生长的pH范围(5.0~5.5),同时也可多施有机肥以提高土壤对离子的缓冲能力。以上防治技术及效果还有待进一步研究。(3)喷施叶面肥,特别是含Zn、Fe微量元素的叶面肥,以减小患病茶苗根系活力降低以及由于离子之间相互作用导致的营养元素含量降低甚至缺乏的不良影响。

参考文献

- 戴建军,王洪亮,程岩(2000). 测定植物样品全氮含量两种方法比较. 东北农业大学学报, 31 (1): 36~38
- 方兴汉(1984). 茶树某些矿质营养元素缺乏症和过量症的研究. 中国茶叶, (2): 19~21
- 蒋时姣,钟宇,刘海鹰,张双,吴富雨,黄金亮,张帆,万雪琴(2015). 铝胁迫对柳杉组培苗生长及生理特性的影响. 植物生理学报, 51 (2): 227~232
- 雷道才,梁传平,陈有志,黄富宇(1998). 大乌圆龙眼实生幼苗缺素沙培试验初报. 中国南方果树, 27 (3): 29~30
- 李玉盛,何延红(1992). 钼蓝法测定橡胶叶片磷的一点改进. 热带作物研究, (4): 23~29
- 童启庆(2000). 茶树栽培学. 北京: 中国农业出版社
- 吴道铭,傅友强,于智卫,沈宏(2013). 我国南方红壤酸化和铝毒现状及防治. 土壤, 45 (4): 577~584
- 姚元涛,张丽霞,王日为,米培培,汪军(2009). 山东棕壤茶区茶树荧光性绿斑病因的营养诊断. 茶叶科学, 29 (2): 144~153
- 于宁,毕树平,邹公伟,魏宗波(2000). 氯仿萃取8-羟基喹啉荧光法测定天然水中的总单核铝和酸溶态铝. 分析化学, 28 (4): 461~465
- 严红梅,和丽忠,汪禄祥,陈锦玉,黎其万(2008). 硫酸钡比浊法测定烟草中硫酸根(SO₄²⁻)离子. 现代科学仪器, (6): 51~53
- 张永力,孙力(2011). 茶园土壤酸化及其改良措施. 茶业通报, 33 (4): 158~161
- 赵玲娟,常臻,马青娜,马成仓,刘春光(2013). 过量硼对植物毒害的缓解机制及其研究进展. 环境整治, 6 (3): 63~65
- 中国土壤学会农业化学专业委员会(1983). 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 132~145, 156~157