

湖南省主要茶园土壤锌的形态及其有效性

郭海彦, 周卫军*, 张杨珠, 郝金菊, 齐龙波

(湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

摘要: 采用野外调查采样分析和田间试验方法研究了湖南省主要茶园生态系统中土壤 Zn 的形态及其有效性。结果显示: 成土母质明显影响土壤中各种形态 Zn 的含量, 与母质本身的特性有关; 生物+秸秆和秸秆覆盖处理能明显提高茶园土中有效态 Zn 与有机态 Zn 的含量, 而对其他形态 Zn 的含量影响不太明显; 土壤中对有效态 Zn (AZn) 含量影响最大的是交换态 Zn (ExZn) 与无定形氧化铁结合态 Zn (AFeZn), 其次为氧化锰结合态 Zn (MnOZn)、有机态 Zn (OMZn) 及晶形氧化铁结合态 Zn (CFeZn)。

关键词: 茶园土壤; 锌形态; 有效锌; 有效性

中图分类号: S153.6⁺1

土壤中的 Cu、Pb、Zn 历来备受关注^[1]。因为它们的含量水平、存在形态和迁移转化对环境和生物效应都产生重要的影响^[2-4]。Zn 不仅是人体必需的生命元素,也是植物所必需的营养元素,它通过形成 RNA 和 DNA 聚合酶,直接参与核酸和蛋白质的合成^[1]。土壤是植物 Zn 营养的主要来源,土壤供 Zn 能力取决于土壤 Zn 的含量、形态及其有效性^[5-8]。Zn 作为茶树体内的生命活性元素之一,近年来人们为此在茶园施 Zn 肥改良茶叶品质、茶树生理特性、茶树的 C、N 代谢等方面做了不少工作^[9-11],但对茶园土壤 Zn 形态的转化及其有效性的研究则较少见报道。本文研究了湖南省几种主要母质发育的茶园土壤不同 Zn 形态的含量与分布及不同生物覆盖措施对土壤 Zn 有效性的影响,以期揭示不同母质发育茶园土壤 Zn 的供应特征以及土壤 Zn 的有效性,为合理调控茶园土壤 Zn 的供应能力和改良茶叶的品质等提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤于 2004 年 4 月采自湖南省长沙县(湘丰茶场)、桃源县(大叶茶场)、石门县(东山峰茶场),土壤母质包括第四纪红土、花岗岩、紫色沙砾岩、板页岩的表层(0~20 cm)混合土壤样品共 14 个,风干后分别过 20 目、100 目筛后备用,供试土壤的基本情况见表 1。

1.2 试验设计

试验自 2001 年春季在长沙县金井镇湘丰茶场开始,土壤为花岗岩母质发育的花岗岩红壤。试验设 5 个处理: 清耕。地表没有进行任何覆盖和生物物质循环; 大棚+秸秆。秋冬季采用塑料大棚覆盖,夏秋季采用遮阳网覆盖,春季在茶树行间覆盖稻草; 生物。冬季在茶树行间种植三叶草,春季作为绿肥翻

表 1 供试茶园土壤基本理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of the tested tea garden soils

母质	样本数	有机质 (g/kg)	pH	全 N			全 P		全 K		黏粒含量 (g/kg)	
				全 N	全 P	全 K	0.02 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm				
花岗岩	6	14.40	4.04	1.52	0.50	1.14	219.0	297.0				
紫色沙砾岩	2	12.83	3.79	1.46	0.36	2.23	321.0	263.0				
第四纪红土	3	22.73	3.97	0.88	0.24	1.01	377.3	336.7				
板页岩	3	32.95	3.93	1.76	0.39	1.78	406.7	395.3				

基金项目: 国土资源部项目 (1212010310304) 和湖南农业大学人才基金项目 (04YJ10) 资助。

* 通讯作者

作者简介: 郭海彦 (1981—), 女, 山西闻喜人, 硕士研究生, 主要从事茶园土壤生态系统评价方面的研究。 E-mail: guoliyan_001@163.com

压；生物 + 秸秆。冬季在茶树行间种植三叶草，春季作为绿肥翻压，并同时茶树行间覆盖稻草；秸秆。春季在茶树行间覆盖稻草。稻草按 5000 kg/hm² 施用，N、P、K 肥按常规施用量，采用当地习惯管理方法进行茶园培管，每处理重复 4 次。于 2004 年春季采集表层 (0~20 cm) 混合土样，风干后分别过 20 目、100 目筛后备用。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤基本理化性质分析 土壤有机质 (丘林法)、机械组成 (比重计法)、pH (水提)、土壤全 N、全 P、全 K 按常规分析方法进行^[12]。

1.3.2 土壤有效 Zn、土壤 Zn 形态的分析测定方法 土壤有效 Zn (AZn) 用 DTPA 法提取-原子吸收测定^[12]。

土壤 Zn 形态 (包括交换态 Zn (ExZn)、二氧化锰

结合态 Zn (MnOZn)、有机态 Zn (OMZn)、无定形氧化铁结合态 Zn (AFeZn)、晶形氧化铁结合态 Zn (CFeZn)、硅酸盐矿物态 Zn (SiOZn)，采用文献^[6,7]的方法提取，然后用原子吸收光度法测定^[6-7]。

2 结果与分析

2.1 茶园土壤全 Zn 和有效态 Zn 的含量

从表 2 可以看出不同母质发育的茶园土壤全 Zn (即土壤 6 种不同形态 Zn 之和) 有明显的差异，其大小顺序为紫色砂岩 > 板页岩 > 花岗岩 > 第四纪红土，而最高的也仅仅为 66.45 mg/kg，最低的仅为 51.80 mg/kg，低于全国土壤的平均值 (100 mg/kg)，这说明湖南省几种主要母质发育的茶园土壤的全 Zn 储量并不高。

表 2 不同母质发育的茶园土壤 Zn 的形态含量 (mg/kg)

Table 2 Forms and contents of zinc in tea garden soils derived from different parent materials

母 质	TZn	AZn	ExZn	MnOZn	OMZn	AFeZn	CFeZn	SiOZn
板页岩	70.36 ± 4.84	2.16 ± 0.45	1.65 ± 0.33	3.19 ± 0.38	4.98 ± 0.47	0.27 ± 0.20	9.64 ± 1.08	48.47 ± 3.33
花岗岩	54.35 ± 4.01	2.02 ± 0.37	2.01 ± 0.29	2.16 ± 0.44	3.68 ± 0.35	0.08 ± 0.04	2.30 ± 0.65	42.10 ± 2.89
紫色砂岩	77.45 ± 5.79	2.30 ± 0.49	1.76 ± 0.27	1.66 ± 0.32	6.26 ± 0.63	痕量	15.74 ± 1.35	49.73 ± 2.13
第四纪红土	51.80 ± 5.14	0.75 ± 0.28	0.67 ± 0.21	1.47 ± 0.41	3.37 ± 0.54	0.63 ± 0.33	4.19 ± 0.64	40.72 ± 2.87

不同母质发育的茶园土壤有效 Zn 含量有一定的差异 (表 2)，其中以第四纪红土母质发育的土壤最低，仅为 0.75 mg/kg，处于轻度缺 Zn 状态，施用 Zn 肥可促进茶叶的生长发育；而其他 3 种母质发育土壤的有效 Zn 含量均在 2.0 mg/kg 以上，就土壤 Zn 的状况来看，对于茶叶生长不会显示缺 Zn 症状，能保证茶树的正常生长。这可能与土壤特性有关，已有研究表明，每增加一个 pH 单位，所有含 Zn 矿物的溶解度可减少为其原溶解度的 1%^[13,17]，而茶园土壤的 pH 值均较低，因而导致其土壤的有效 Zn 含量较高，但是从总的结果来看这几种母质发育的茶园土壤的有效性又低于全国的平均值 (3.6 mg/kg)，因此，针对不同的茶园合理施用 Zn 肥，以保证茶树的正常生长发育是很必要的。

2.2 茶园土壤不同形态 Zn 的含量

母质作为土壤发育的根本，对土壤 Zn 形态有明显的影响。从表 2 可以看出，交换态 Zn 以花岗岩母质发育的土壤含量最高，第四纪红土的含量最低；氧化锰结合态则以板页岩母质发育的 Zn 含量最高，第四纪红土的含量最低；有机态以紫色砂岩发育的土壤 Zn 含量最高，第四纪红土的 Zn 含量最低；无定形氧

化铁结合态 Zn 的含量较低，在花岗岩和紫色砂岩发育的土壤中均基本不能检及，板页岩和第四纪红土发育土壤中的含量则 < 0.7 mg/kg；晶形氧化铁结合态 Zn 在不同母质发育的土壤中的含量波动性较大，最大的达到 15.74 mg/kg (紫色砂岩)，最小的仅为 2.30 mg/kg (花岗岩)；硅酸盐矿物结合态 Zn 是各种形态 Zn 中含量最高的，在各土壤中含量均在 40 mg/kg 以上，含量最高的紫色砂岩发育的土壤，达到 49.73 mg/kg，最低的是第四纪红土发育土壤，含量为 40.72 mg/kg。

总的来说，除无定形氧化铁结合态 Zn 和晶形氧化铁结合态 Zn 以外，第四纪红土发育的土壤中其他形态 Zn 含量都是最低的。从另一个方面反映了第四纪红土茶园土壤 Zn 多被氧化铁胶体强烈吸附固定，应采取适当措施减少氧化铁胶体对土壤中 Zn 的吸附及固定。

2.3 有机物覆盖对茶园土壤 Zn 形态的影响

水稻秸秆由于本身含有一定量的 Zn，因而采用稻草异地循环可以提高茶园土壤全 Zn 的含量，平均比未施秸秆的处理提高了 2 mg/kg，但处理间没有显著差异，这可能是试验才进行了 3 年，其量较小的缘故。而有效 Zn 含量在有机物覆盖 (生物、秸秆、生物 + 秸

秆、大棚 + 秸秆) 的条件下均显著的高于未覆盖处理, 可见, 采用有机物覆盖可以活化土壤中的 Zn, 提高土壤有效 Zn 的含量^[14-15]。

从表 3 可以看到, 交换态 Zn、氧化锰结合态 Zn 和有机态 Zn 的含量明显高于清耕处理下的含量。有研究显示土壤有效 Zn 与交换态 Zn 和有机态 Zn 呈显著的正相关, 这可能是土壤有效 Zn 提高的原因之一^[5,8,15-16]。有机物覆盖可以明显地影响茶园土壤 Zn 形态的含量, 土壤有机质分解过程中不仅可产生酸性物质降低土壤 pH 值, 而且其小分子物质可与 Zn 形成溶解度大的络合物, 从而增加 Zn 的有效性。另一方

面, 结构复杂的有机物质可与 Zn 形成沉淀而产生固定作用, 使有机质中含有较多的 Zn^[5]。而有机质对土壤硅酸盐结合态 Zn 影响较小, 且对无定形氧化铁结合态 Zn 的影响也没有规律性。此外, 有机质的存在利于氧化铁的活化, 故有机质含量对土壤 Zn 的形态分布具有重要影响。可见, 采用有机物覆盖主要是通过调节茶园土壤中的交换态 Zn 和有机态 Zn 的含量, 从而提高土壤有效 Zn 的含量。因此在茶园的管理过程中可以采取在茶树的行间种植豆科绿肥 (如三叶草等) 或稻草异地循环以改善土壤的供 Zn 特征, 增加土壤中有效态 Zn 的含量。

表 3 不同处理对茶园土 (花岗岩母质) 中 Zn 的形态的影响 (mg/kg)

Table 3 Effect of tea garden management on zinc forms in tea garden

处理	TZn	Azn	ExZn	MnOZn	OMZn	AFeZn	CFeZn	SiOZn
清耕	54.26±5.43	1.86 ± 0.67	2.04 ± 0.59	1.90 ± 0.41	3.61 ± 0.63	0.50 ± 0.03	2.75 ± 0.83	41.60 ± 3.54
大棚+秸秆	56.34±4.02	2.48 ± 0.36	2.48 ± 0.25	2.09 ± 0.24	4.33 ± 0.35	痕量	2.53 ± 0.64	42.43 ± 2.86
生物	54.94±4.21	2.35 ± 0.25	2.45 ± 0.27	2.05 ± 0.16	3.89 ± 0.47	痕量	2.60 ± 0.65	41.60 ± 3.14
生物+秸秆	56.08±3.41	2.59 ± 0.19	2.68 ± 0.32	1.26 ± 0.27	4.50 ± 0.37	痕量	1.95 ± 0.52	42.10 ± 2.94
秸 秆	55.96±3.84	2.33 ± 0.23	2.41 ± 0.24	2.24 ± 0.15	4.07 ± 0.42	痕量	2.93 ± 0.67	41.98 ± 3.21

2.4 茶园土壤有效 Zn 与不同形态 Zn 之间的关系

土壤中有有效 Zn 可被植物吸收利用, 它的含量高低反映土壤对茶树的供 Zn 水平。土壤溶液中的 Zn 是以 Zn²⁺ 的形式被植株吸收。随着 Zn²⁺ 不断被根部吸收, 土壤中 Zn²⁺ 浓度不断降低。由表 4 可知, 对有效态 Zn 含量影响最大的是交换态 Zn 与无定形氧化铁态 Zn, 其次为氧化锰结合态 Zn, 有机态 Zn 与晶形氧化铁结合态 Zn。交换态 Zn 是借静电引力吸附于土壤胶体上的 Zn 离子, 可被一般的阳离子所交换, 本研究结果也表明 (表 4), 交换态 Zn 与有效态 Zn 呈极显著正相关, 成为重要的有效态 Zn 源。Zn 可与

多种阴离子形成难溶盐。无定形氧化铁结合态对金属离子有强烈的吸附作用, 且吸附的 Zn 有相当大比例不能被一般的阳离子交换下来, 吸附是专性的, 对植物的有效性低。

有机态 Zn 与除硅酸盐结合态 Zn 外的其他形态的 Zn 之间的相互转化是比较快的, 有机态 Zn 的形成和分解对土壤 Zn 的固定和有效性起重要作用, 有机态 Zn 能够有效地络合或螯合存在于土壤腐殖质或土壤生物中的 Zn, 由表 4 可见, 有机态 Zn 与晶形氧化铁态 Zn 之间存在极显著正相关, 说明如果能够有效增加土壤有机态 Zn 的含量, 在适合的 pH 影响下将

表 4 茶园中有效态 Zn 与各形态 Zn 之间的关系 (n = 14)

Table 4 Available zinc in relation to other forms of zinc in the tea garden

形态	AZn	ExZn	MnOZn	OMZn	AFeZn	CfeZn	SiOZn
AZn	1						
EXZn	0.555**	1					
MnOZn	0.347*	0.128	1				
OMZn	0.345*	-0.001	0.377*	1			
AFeZn	-0.589**	-0.329	0.109	-0.099	1		
CFeZn	0.316*	-0.144	0.160	0.812**	-0.096	1	
SiOZn	0.255	0.339*	0.412*	0.475*	0.155	0.475*	1

增加土壤中有效 Zn 的含量。

如表 4 所示, 硅酸盐态 Zn 与氧化锰结合态 Zn、有机态 Zn、晶形氧化铁态 Zn 存在显著正相关。说明硅酸盐态 Zn 能影响氧化锰结合态 Zn、有机态 Zn、晶形氧化铁态 Zn 在茶园土壤中的含量, 硅酸盐态 Zn 一方面是土壤 Zn 的来源, 另一方面又对施用的 Zn 产生固定作用。如何采取措施减少其对 Zn 的固定作用有待进一步研究。

3 结论

(1) 湖南省几种主要母质发育的茶园土壤的全 Zn 储量低于全国土壤的平均值 (100 mg/kg), 不同母质发育的茶园土壤有效 Zn 含量有一定的差异, 从本研究结果来看这几种母质发育的茶园土壤的有效 Zn 低于全国的平均值 (3.6mg/kg), 因此, 针对不同的茶园确定 Zn 肥的用量, 以保证茶树的正常生长发育是很必要的。

(2) 成土母质会影响土壤中各种形态 Zn 的含量, 除无定形氧化铁结合态 Zn 和晶形氧化铁结合态 Zn 以外, 第四纪红土发育的土壤的其他形态 Zn 含量都是最低的。因此对于南方大部分红壤茶园来说, 在茶叶成长时一定要注意追加 Zn 肥。

(3) 不同覆盖措施会不同程度的影响土壤中各种 Zn 的含量变化。其中生物 + 秸秆能显著增加茶园土中有效 Zn 与有机态 Zn 的含量, 而对其他形态的 Zn 影响不太明显。此外, 各种覆盖条件下有机态 Zn 含量均高于清耕条件下含量, 从而利于提高土壤中有有效态 Zn 的含量。

(4) 不同形态的 Zn 之间存在一定的关系: 有效 Zn 与交换态 Zn 存在极显著正相关, 与氧化铁结合态 Zn 存在极显著负相关。有机态 Zn 与晶形氧化铁态 Zn 之间存在极显著正相关。硅酸盐态 Zn 与氧化锰结合态 Zn、有机态 Zn、晶形氧化铁态 Zn 存在显著正相关。

另外, 增加土壤中有机质的含量还可以有效增加有效态 Zn 的含量, 针对南方大部分红壤茶园的缺 Zn 状况, 在茶叶成长时除要注意追加 Zn 肥外, 建议在茶树中行间覆盖秸秆, 并在冬季种植绿肥作物 (如三叶草), 春季翻盖, 这样可以将改良土壤和施用 Zn 肥两种途径有效地结合起来, 使各形态 Zn 在土壤溶液中处于动态平衡, 调节增加土壤中有有效态 Zn 的含量。

参考文献:

- [1] 张乃明. 土壤—植物系统重金属污染研究现状与展望. 环境科学进展, 1999, 7(4): 30-33
- [2] 张庆利, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰, Blombaeck K, Oboern I. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究. 土壤, 2005, 37 (1): 41-47
- [3] 骆永明, 严蔚东, Christie P. 铜锌交互和土壤 γ -辐射对大麦和黑麦生长的影响. 土壤, 2000, 32 (2): 95-98
- [4] 倪才英, 田光明, 骆永明, 陈英旭. 有机化合物和硝酸溶液对符合污染土壤中Cu、Zn、Pb释放的影响. 土壤学报, 2004, 41(2): 237-244
- [5] 蒋廷惠, 胡霏堂, 秦怀英. 土壤中锌的形态分布及其影响因素. 土壤学报, 1993, 30(3): 260-266
- [6] 蒋廷惠, 胡霏堂. 土壤锌的形态和分级方法. 土壤通报, 1989, 20 (2): 36-89
- [7] 韩凤祥, 胡霏堂, 秦怀英, 史瑞和. 我国某些旱地土壤中锌的形态及其有效性. 土壤, 1990, 22(6): 302-306
- [8] Zhang MK, Ke ZX. Copper and zinc enrichment in different size fractions of organic matter from polluted soil. Pedosphere, 2004, 14(1): 27-36
- [9] 吴彩, 方兴汉. 锌在茶树碳氮代谢中的效应. 中国农业科学, 1994, 27(2): 72-77
- [10] 韩文炎, 许允文, 伍丙华. 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响. 锌对茶树的生长和生理效应. 茶叶科学, 1994, 14(1): 23-29
- [11] 张建丽. 喷施锌肥对茶叶产量和品质效应的试验. 福建农业科技, 1998 (6): 14-15
- [12] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [13] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡. 北京: 中国环境科学出版社, 1998
- [14] 韩晓日, 邹德乙, 郭鹏程. 长期施肥对土壤中锌的形态含量及其有效性影响. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(专辑): 56-61
- [15] 崔德杰, 张继宏, 关连珠, 李俊良. 长期施肥及覆膜栽培对土壤锌各形态及其有效性影响的研究. 土壤通报, 1994, 25(5): 207-209
- [16] 王国庆, 骆永明, 宋静, 夏家淇. 土壤环境质量指导值与标准研究. 国际动态及中国的修订考虑. 土壤学报, 2005, 42(4): 666-673
- [17] 王新, 周启星. 外源镉铅铜锌在土壤中形态分布特性及改性剂的影响. 农业环境科学学报, 2003, 22(5): 541-545

Forms and Availability of Zinc in Tea Garden Soils

GUO Hai-yan, ZHOU Wei-jun, ZHANG Yang-zhu, HAO Jin-ju, QI Long-bo

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Field survey and soil sampling for test were conducted of major tea gardens in Hunan Province to study forms and availability of zinc in the soil ecosystems. Results showed that parent material has a significant impact on form and content of soil zinc, which is related to characteristics of parent material; mulching (using biological material + crop straws) could stimulate transformation of soil zinc into available forms, notably increasing the content of available zinc and organic zinc in the tea garden soil, but does not have much influence on the content of other forms of zinc; and in terms of effect on available zinc (AZn) exchangeable, zinc (ExZn) is in the lead and followed by amorphous ferric-oxide-bonded zinc (AF_eZn), manganese-oxide-bonded zinc (MnOZn), organic zinc (OMZn) and crystalloid ferric-oxide-bonded zinc (CF_eZn).

Key words: Tea garden soil, Zinc form, Available zinc, Availability