

茶园土壤 pH 变化对土壤中铝特性的影响^①

张艳萍, 宗良纲*, 史艳芙

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 土壤中铝的毒性强弱取决于铝的形态。为了解茶园土壤中铝的特性, 以江苏省 7 个长期定位观测茶园为研究对象, 采用化学连续提取法测定不同条件下土样中不同形态的铝含量, 研究茶园土壤 pH 升高或降低过程中铝的形态转化及其影响因素。结果表明, 茶园土壤在酸化过程中活性铝溶出明显增强, 不同形态的铝含量有明显差异, 依次为腐殖酸铝(Alh)>铝的水合化物和氢氧化物(Al_{oh})>交换态铝(Alex)>有机态铝(Alo)>水溶态铝(Alw)>无机吸附态铝(Alino); 土壤 pH、有机质和酸容量是影响铝形态的重要因素; 茶园土壤酸化过程中铝的水合化物和氢氧化物、无机吸附态铝以及水溶态铝会转化为交换态铝。土壤 pH 升高, 交换态铝转化成羟基铝; 有机结合态铝会影响其他铝形态的转化, 腐殖酸铝在土壤 pH 升高时转化为铝的水合化物和氢氧化物。

关键词: 茶园土壤; 铝形态; pH 变化; 影响因素

中图分类号: S153.4; S158.4 **文献标识码:** A

铝是地壳和土壤中最丰富的金属元素。土壤中的铝大多以矿物形式存在, 只有少部分能转化为有效形态。土壤溶液中的总铝浓度取决于其在固相状态下的溶出率, 而这在很大程度上是由土壤 pH 决定的^[1]。当土壤发生酸化(pH 降低)时, 固定态铝会被活化, 转化成活性态铝, 从而会抑制一些植物的生长发育^[2-5]。土壤中铝对植物的毒害作用主要取决于铝的形态, 而并非铝的全量。不同形态铝对植物根系的毒害作用由强到弱依次为: $Al^{3+} > Al(OH)^{2+} > Al(OH)_2^+ > Al(OH)_4^-$, 而有机结合态和铝氟结合态对植物基本无害^[6]。茶树是典型的聚铝植物, 能够在铝含量较高的酸性土壤中正常生长。自然土壤种植茶树后, 由于茶树根系分泌有机酸会逐渐降低土壤 pH, 且酸化速率较自然土壤要快。茶园土壤的 pH 随种茶年限延长而逐步降低。我国茶园土壤酸化问题自 20 世纪 70 年代开始就日趋严重。本课题组自 2002 年以来对江苏省茶园土壤开展了长期定位监测, 结果表明江苏省茶园土壤也一度存在较严重的酸化现象, 所监测的茶园土壤 pH 均低于茶树生长最适 pH 5.5, 其中 2009 年度的调查结果显示 42.8% 的被调查茶园土壤 pH 低于 4.0^[7-8]。鉴于在酸性条件下土壤中铝的化学行为、迁移和毒性都涉及到铝的形态这一根本问题, 本文以江

苏省 7 个长期定位观测茶园为研究对象, 重点针对茶园土壤中铝的形态特征进行研究, 分析茶园土壤 pH 变化条件下铝形态的改变及其制约因素, 以期控制茶园土壤酸化、减轻铝毒对茶树生长的影响以及提高茶叶品质等方面提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本课题组自 2002 年承担江苏省无公害茶叶攻关项目以来, 采用 GPS 定位技术先后在江苏省 30 多个茶场建立了茶园土壤监测点。以课题组在江苏省代表性茶场设立的长期定位观测茶园为研究对象, 通过查阅前期课题组不同茶园土壤 pH 监测结果, 从中选取了 7 个 pH 动态变化较明显茶园的土壤样品进行进一步分析。这些茶场分别是宜兴盛道茶场(SD, 监测时间分别在 2006 年、2014 年和 2015 年); 宜兴阳羨茶场(YX, 包括 2006 年、2011 年和 2014 年); 芙蓉茶场(FR, 2011 年、2014 年和 2015 年); 茶叶科学研究所(CKY, 2011 年、2014 年和 2015 年)、岭下茶场(LX, 2005 年、2009 年和 2011 年); 灵谷茶场(LG, 2009 年、2014 年和 2016 年)以及镇江高庙茶场(GM, 2012 年、2014 年和 2015 年)的土样。所有土样风干剔除

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303106)和江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX(11)3042) 资助。

* 通讯作者(zonglg@njau.edu.cn)

作者简介: 张艳萍(1993—), 女, 江苏宜兴人, 硕士研究生, 主要从事环境质量与食品安全方面的研究。E-mail: 2015103044@njau.edu.cn

杂物后按检测项目要求分别磨细过 10 目、20 目、60 目和 100 目筛得到待测样品，保存备用。

1.2 分析方法

土壤 pH 测定采用电位法(水土比 2.5 : 1) ; 土壤有机质测定采用 $K_2Cr_2O_7$ 外加热容量法 ; 土壤交换性酸测定采用 KCl 交换-中和滴定法 ; 土壤全磷测定采用 $HClO_4-H_2SO_4$ 法 ; 土壤有效磷测定采用 $HCl-H_2SO_4$ 法 ; 土壤全氮测定采用半微量开氏法 ; 有效硅测定采用柠檬酸浸提法 ; 土壤阳离子交换量测定采用乙酸铵交换法，具体测定方法参照《土壤农化分析》^[9]进行。

土壤全铝(100 目)采用 HNO_3-HClO_4 法消煮后保存待测。不同形态铝的测定(60 目)参考文献[10-12]的方法，其中交换态铝(Alex)、有机结合态铝(Alo)、无机吸附态铝(Alino)、铝的水合化物和氢氧化物(Al_{oh})和腐殖酸铝(Alh)用不同浸提液按水土比为 10 : 1 提取，而水溶态铝(Al_w) 按水土比为 5 : 1 提取。具体步骤如下： 交换态铝(Alex) : 称取风干土样 1.000 g 于 100 ml 塑料离心管中，加入 1 mol/L KCl 浸提液，在 120 r/min 下振荡 30 min，在 2 000 r/min 下离心 15 min，倾出上清液于烧杯中，重复步骤再提取一次，上清液过 0.22 μm 孔径微孔滤膜，保存待测；用去离子水多次洗涤残渣，离心后弃去上清液； 有机结合态铝(Alo) : 取 中残渣，加入 0.1 mol/L $CuCl_2$ 浸提液，振荡 8 h 后离心，倾出上清液过滤膜，洗涤残渣； 无机吸附态铝(Alino) : 取 中残渣，加入

1 mol/L NH_4Ac 浸提液，振荡 8 h 后离心，倾出上清液过滤膜，洗涤残渣； 铝的水合化物和氢氧化物(Al_{oh}) : 取 中残渣，加入 1 mol/L HCl 浸提液，振荡 1.5 h 后离心，倾出上清液过滤膜，洗涤残渣；

腐殖酸铝(Alh) : 取 中残渣，加入 0.5 mol/L NaOH 浸提液，振荡 3 h 后离心，倾出上清液过滤膜； 水溶态铝(Al_w) : 称取风干土样 4.000 g，加入 20 ml 去离子水，振荡 4 h 后离心，倾出上清液过滤膜。采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)测定。

1.3 数据处理与统计分析

采用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS 22 统计分析软件进行数据处理和显著性检验，并用 Origin 8.5 软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 茶园土壤中全铝含量及铝的形态分布

土壤全铝是土壤中各形态铝的总和，通常分为活性铝和惰性铝。惰性铝生物毒性较弱，受土壤酸度影响小，故本文不作讨论。由表 1 可以看出，所监测茶园土壤全铝含量范围为 18.96 ~ 24.28 g/kg，不同茶场之间差异不大，同时在监测期间土壤全铝含量无明显变化。这是由于土壤中的铝来源于成土母质，而 7 个茶场位于宜溧山区和宁镇山脉，同属于页岩坡积母质。7 个茶场全铝含量略低于一般页岩中的铝含量 25 g/kg^[13-14]。

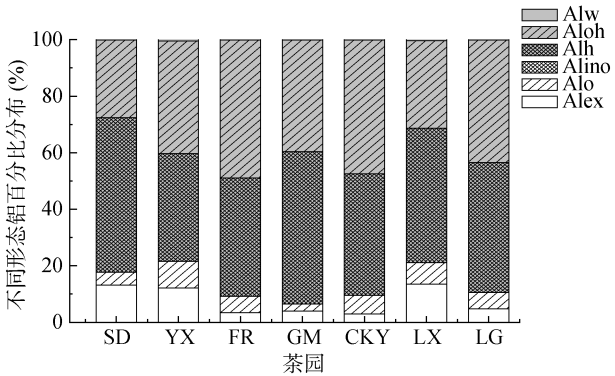
表 1 茶园土壤中全铝含量
Table 1 Soil total Al contents in tea plantations

地点	年份	pH	全铝量(g/kg)	地点	年份	pH	全铝量(g/kg)
SD	2006	4.03 ± 0.01	19.20 ± 0.51	CKY	2012	4.43 ± 0.02	22.69 ± 0.65
	2014	4.06 ± 0.01	20.74 ± 1.63		2014	4.31 ± 0.04	21.06 ± 0.97
	2015	4.45 ± 0.04	19.24 ± 0.86		2015	4.22 ± 0.01	21.89 ± 0.23
YX	2006	4.11 ± 0.01	22.82 ± 0.92	LX	2005	3.97 ± 0.01	24.28 ± 0.69
	2011	4.64 ± 0.01	21.49 ± 0.83		2009	4.41 ± 0.03	23.96 ± 0.75
	2014	4.08 ± 0.01	21.12 ± 0.92		2011	4.28 ± 0.01	24.26 ± 0.79
FR	2011	4.66 ± 0.02	18.96 ± 1.96	LG	2009	4.63 ± 0.02	22.67 ± 1.95
	2014	4.45 ± 0.02	19.07 ± 1.55		2014	4.20 ± 0.02	22.02 ± 1.34
	2015	4.10 ± 0.01	19.49 ± 0.65		2016	4.68 ± 0.03	21.88 ± 1.50
GM	2005	4.27 ± 0.02	21.06 ± 1.02				
	2012	5.17 ± 0.01	21.96 ± 1.34				
	2015	5.06 ± 0.03	20.07 ± 1.26				

从图 1 中可以看出，不同茶场的茶园土壤中铝的形态分布基本相同，腐殖酸铝(Alh)与铝的水合化物和氢氧化物(Al_{oh})所占比例较大，合计达到 80% ~

90%，其中腐殖酸铝>铝的水合化物和氢氧化物；其次是交换态铝(Alex)>有机结合态铝(Alo)，水溶态铝(Al_w)和无机吸附态铝(Alino)所占比例最少，尤其是

无机吸附态铝几乎为零,这与刘晓静^[12]、刘少坤等^[15]、谢忠雷等^[16]的研究结果基本一致。



(Alw:水溶态铝;Aloh:铝的水合化物和氢氧化物;Alh:腐殖酸铝;Alino:无机吸附态铝;Alo:有机结合态铝;Alex:交换态铝;下同)

图 1 茶园土壤中不同形态铝含量百分比
Fig.1 The percentage of Aluminum in different forms in tea plantation soils

2.2 影响茶园土壤中铝形态的因素

土壤中的铝以不同形态存在,各形态铝受到不同因素的影响。土壤 pH 是土壤酸碱度中活性酸度的表示形式,潜性酸度是土壤酸性的容量指标,代表土壤

所含的交换性氢、铝总量,一般用交换性酸度表示。潜性酸和活性酸之间有一个动态平衡,可以相互转化,从表 2 中也可以看出土壤 pH 与交换性酸度呈极显著负相关。交换态铝是酸性土壤中常见阳离子,同时也影响土壤各形态的转化过程。从表 2 可以看出交换态铝与土壤 pH 呈极显著负相关,与交换性酸度呈显著正相关,这与刘少坤等^[15]、秦樊鑫等^[17]和 Walna 等^[18]的研究结果相同。交换性酸度是土壤胶体上 H⁺ 和 Al³⁺ 被盐类溶液中盐基离子交换后所表现的酸度,与交换态铝直接相关。pH 下降的同时交换性酸度增大,因此交换态铝含量增加。此外,pH 低的土壤铝硅酸盐矿物可以转变为易溶化合物,从而导致交换态铝含量增加。土壤 pH 与有机结合态铝和水溶态铝呈显著负相关,这与 Wang 等^[11]的研究结果基本一致。土壤 pH<4.7 时,单核 Al³⁺ 占主导地位,极易与有机质结合,而当 pH>4.7 时,形成的铝化合物则易形成铝的氧化物或氢氧化物^[19]。故当 pH 升高时,与有机质配合的铝相应减少,即有机结合态铝减少。土壤 pH>5.5 时,铝会与磷酸等化合物结合,水溶态铝一般很少;当土壤 pH<5.0 时,铝的溶解度急速加大,使大量铝转化为水溶态铝^[20]。

表 2 茶园土壤中不同形态的铝与土壤特性的相关性分析
Table 2 Correlation coefficients of different Al forms and soil properties in tea plantation

	Alex	Alo	Alino	Alh	Aloh	Alw	pH
Alex	1						
Alo	0.457*	1					
Alino	0.225	0.859**	1				
Alh	0.210	-0.106	-0.346	1			
Aloh	-0.261	0.369	0.405	0.088	1		
Alw	0.423	0.677**	0.682**	-0.141	0.254	1	
pH	-0.768**	-0.428*	-0.236	-0.094	0.223	-0.463*	1
SOM	0.114	0.804**	0.661**	-0.087	0.380	0.634**	-0.201
CEC	0.049	0.354	0.189	0.291	0.298	0.354	0.063
交换性酸度	0.906**	0.541**	0.322	0.232	-0.056	0.529*	-0.838**
有效磷	-0.490*	0.133	0.164	-0.414	0.406	0.043	0.236
有效硅	-0.184	-0.500*	-0.544**	0.529	0.051	-0.425*	0.535*

注:*表示相关性达到 P<0.05 显著水平,**表示相关性达到 P<0.01 显著水平。

有机质能够通过一系列复杂的反应与土壤中的铝结合。由表 2 可知,有机质与有机结合态铝、无机吸附态铝和水溶态铝呈极显著正相关,这与 Wang 等^[11]、刘少坤等^[15]和秦樊鑫等^[17]的研究结果基本一致。土壤胶体表面的负电荷量会随着土壤中有机质的增加而增加,解离出的 H⁺ 会使更多的铝淋溶进入土壤溶液中与有机质配合,从而使有机结合态铝含

量增加^[19]。Al³⁺ 在土壤溶液中含较多有机酸时,以胶膜形式存在于矿物质表面,边缘的无机吸附态铝与有机酸复合从而影响了土壤的理化性质,导致土壤中无机吸附态铝含量增加。有机质解离出的 H⁺ 和潜性酸中被盐基离子置换出的 H⁺ 会破坏矿物中 Si-O-Al 键,使得矿物铝进入土壤溶液生成呈离子状态的水溶态铝。

有效磷是土壤中被植物利用吸收的部分,主要以 H_2PO_4^- 、 PO_4^{3-} 等形式存在。由表 2 可知,有效磷与交换态铝呈显著负相关。在酸性条件下,有效磷会与 Al^{3+} 发生吸附沉淀反应。有效硅是土壤中可被提取的硅,一般以水溶态硅、胶体硅和无定形硅形式存在。由表 2 可知,有效硅与无机吸附态铝呈极显著负相关,无机吸附态铝中的羟基铝会以侧链的形式与单硅酸的 Si-O 键连接生成铝硅酸盐单体,从而使无机吸附态铝随有效硅含量的增加而降低。有效硅与交换态铝呈负相关,但没有达到显著水平。有研究表明,脱硅是土壤酸化的主要原因,而且硅可以降低土壤中可交换态铝的含量,硅可与交换态铝通过表面吸附和沉淀生成铝硅酸盐,从而降低铝的有效性^[21]。

综上所述,铝形态主要受土壤 pH、酸容量以及有机质含量影响,其次,也受土壤中有效磷和有效硅的影响。

2.3 茶园土壤 pH 变化对铝形态转化的影响

茶园土壤中各形态铝之间的转化与土壤 pH 变化有密切关系。图 2 是各茶园土壤在 pH 变化过程中各形态铝占比变化规律,由于水溶态铝和无机吸附态铝含量较少,所占百分比变化在图中并不明显,所以通过它们相比于上一采样年度的变化率来说明(图 3)。由图 2 可知茶科园和芙蓉茶园土壤 pH 呈下降趋势,而土壤中的交换态铝在活性铝中所占百分比呈上升趋势,其他有酸化过程的茶场中交换态铝含量也同样增多;茶园土壤 pH 升高时,交换态铝含量降低。铝的水合化物和氢氧化物含量也随土壤的酸化而减少,随土壤 pH 升高而增加;土壤 pH 降低时,土壤溶液中解离出了更多的 H^+ , 促进了铝的水合化物和氢氧化物的水解,导致铝的水合化物和氢氧化物含量减少。从图 3 可以看出,芙蓉、高庙、茶科园、岭下和

灵谷茶场土壤发生酸化后,无机吸附态铝和水溶态铝的含量都有不同程度的减少,说明茶园土壤酸化过程中有一部分铝的水合化物和氢氧化物、无机吸附态铝及水溶态铝会转化为交换态铝。酸化过程中解离出的 H^+ 与硅酸盐矿质晶格间的铝反应生成了羟基铝化合物,随后土壤中的 H^+ 会进一步和羟基铝化合物聚合而生成 Al^{3+} ^[22]。而土壤 pH 升高,则促进了 Al^{3+} 的水解反应,部分转化成铝的水合化物和氢氧化物及无机吸附态铝。由图 2 可知,高庙茶场和灵谷茶场在 pH 达到 4.7 以上时,有机态铝含量明显增加,这是因为有机质在 pH 较低时络合能力较差。而其他情况下,有机态铝的变化没有明显规律,由表 2 可知有机态铝与其他形态铝有显著或极显著相关性,说明有机态铝在土壤 pH 变化过程中最为活跃,影响其他形态之间的相互转化。由图 2 芙蓉、高庙、茶科园、岭下和灵谷茶场土壤腐殖酸铝变化情况可以看出,腐殖酸铝含量随土壤 pH 降低而增加。结合图 2 和图 3B 发现,腐殖酸铝含量增加的同时无机吸附态铝的含量降低,说明腐殖酸铝的存在加剧了羟基铝的进一步水解。而茶科园和芙蓉茶场在土壤 pH 持续下降的前期,腐殖酸铝含量减少,可能是由于在这段时期土壤酸化方式主要是酸沉降,且酸雨 pH 较低达到 4.20 左右^[23]。有研究表明,酸雨 pH 越低,土壤中腐殖酸铝越低,因为在酸雨淋洗下,土壤腐殖质发生分解, pH 越低分解量越大^[22]。而土壤 pH 升高,腐殖酸铝占活性铝含量百分比下降,且此时铝的水合化物和氢氧化物含量增加,表明腐殖酸铝随 pH 的升高会转化为铝的氢氧化物沉淀。

综上所述,土壤 pH 是影响茶园土壤铝形态转化的重要因素,且不同形态铝在 pH 升高或降低过程中会相互影响。

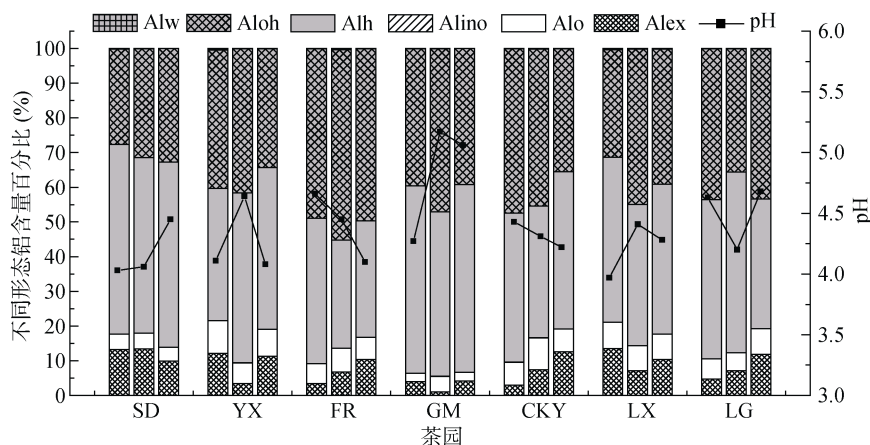
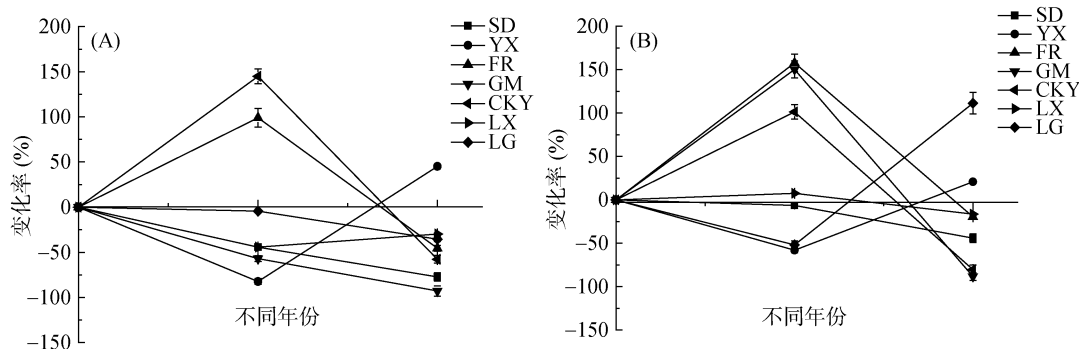


图 2 不同茶园土壤在 pH 变化过程中各形态铝含量百分比

Fig. 2 The percentage of Aluminum in different forms in different tea plantation soils within the change of soil pH



(由于供试土壤选取年份并不统一, 原点表示最早采样年份的土样, 按时间推移)

图 3 不同茶园土壤水溶态铝(A)和无机吸附态铝(B)变化率

Fig.3 Change rates of Alw (A) and Alino (B) in different tea plantations

3 结论

1) 7 个茶园土壤全铝含量在 18.96 ~ 24.28 g/kg 之间, 其平均值略低于成土母质页岩的全铝含量。不同形态铝含量依次为腐殖酸铝>铝的水化合物和氢氧化物>交换态铝>有机结合态铝>水溶态铝>无机吸附态铝。

2) 土壤 pH、酸容量以及有机质含量是影响铝形态的重要因素。交换态铝和土壤 pH 呈极显著负相关关系, 有机结合态铝和水溶态铝与土壤 pH 显著负相关; 交换态铝和有机结合态铝与酸容量呈极显著正相关, 水溶态铝和酸容量呈显著正相关; 有机结合态铝、无机吸附态铝以及水溶态铝与土壤有机质含量呈极显著正相关关系; 交换态铝与有效磷呈显著负相关; 有效硅与无机吸附态铝呈极显著负相关。

3) 茶园土壤 pH 降低或升高过程中, 不同形态铝之间会互相转化或互相影响。土壤酸化过程中, 铝的氢氧化物、无机吸附态铝和水溶态铝会部分转化为交换态铝, 而 pH 升高则交换态铝转化为羟基铝及铝的氢氧化物; 有机结合态铝在所有的形态中是最活跃的, 影响其他形态之间的转化; 茶园土壤酸化时, 腐殖酸铝含量增多, 且会促进无机吸附态铝的水解, 而土壤 pH 升高时腐殖酸铝降低并转化为铝的氢氧化物。

参考文献:

- [1] Lin Y, Su P. Behavior of aluminum adsorption indifferent compost-derived humic acids[J]. Clean, 2010, 38: 916-920
- [2] He G H, Zhang J F, Hu X H, et al. Effect of aluminum toxicity and phosphorus deficiency on the growth and photosynthesis of oil tea (*Camellia oleifera* Abel.) seedlings in acidic red soils[J]. Acta Physiolgiae Plantarum, 2011, 33(4): 1285-1292
- [3] Collignon C, Boudot J P, Turpault M P. Time change of aluminum toxicity in the acid bulk soil and the rhizosphere in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stands[J]. Plant and Soil, 2012, 357(1/2): 259-274
- [4] Cristancho R J A, Hanafi M M, Syed Omar S R, et al. Aluminum speciation of amended acid tropical soil and its effects on plant root growth[J]. Journal of Plant Nutrition, 2014, 37(6): 811-827
- [5] 宋洪明, 邢承华, 吴坤, 等. NO 和 H₂O₂ 对大豆幼苗铝毒害的缓解效应及其相互作用[J]. 环境科学研究, 2014, 27(9): 1061-1066
- [6] Bloom P R, Erich M S, Sposito G. The quantification of aqueous aluminum[J]. The Environmental Chemistry of Aluminum, 1995: 1-38
- [7] 罗敏, 宗良纲, 陆丽君, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化及其对策分析[J]. 江苏农业科学, 2006(2): 139-142
- [8] 张倩, 宗良纲, 曹丹, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J]. 土壤, 2011, 43(5): 751-757
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 25-236
- [10] 黄衍初, 曲长菱. 土壤中铝的溶出及形态研究[J]. 环境科学, 1996, 17(1): 57-59
- [11] Wang S L, Wang P, Fan C Q. Distribution of aluminum fractionation in the acidic rhizosphere soils of masson pine (*Pinus massoniana* Lamb)[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2015, 46: 2033-2050
- [12] 刘晓静. 茶园土壤-茶树-茶汤系统中氟和铝的迁移、转化特征及饮茶型氟中毒的防治探索[D]. 贵阳: 中国科学院(地球化学研究所), 2006: 30-33
- [13] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 194
- [14] 江苏省土壤普查办公室. 江苏土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 14-18
- [15] 刘少坤, 周卫军, 苗霄霖, 等. 茶树根际土壤铝形态演变规律及其影响因素[J]. 土壤, 2014, 46(5): 881-885
- [16] 谢忠雷, 王胜天, 董德明, 等. 茶园土壤中铝的化学形态及其影响因素[J]. 吉林大学自然科学学报, 1999, 17(3): 93-98

- [17] 秦樊鑫, 魏朝富, 黄先飞, 等. 黔西北茶园土壤活性铝的形态分布及影响因素[J]. 环境科学研究, 2015, 28(6): 943–950
- [18] Walna B, Spychalski W, Siepak J. Assessment of potentially reactive pools of aluminium in poor forest soils using two methods of fractionation analysis[J]. Inorg. Biochem., 2005, 99: 1807–1816
- [19] Marion G M, Hendricks D M, Dutt G R, et al. Aluminum and silica solubility in soils[J]. Soil Sci., 1976, 121(2): 76–85
- [20] 蔡彦彬. 土地利用方式和岩性对森林土壤和铝形态影响研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2013: 4–7
- [21] Chen B, Zhou D, Zhu L. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures[J]. Environ. Sci. Technol., 2008, 42: 5137–5143
- [22] 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[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 87–90
- [23] 中国宜兴. 2014 年度宜兴市环境状况公报[EB/OL]. 2015-01-01[2017-11-09]. <http://www.yixing.gov.cn/zfxgk/show-439970.html>.

Effects of Soil pH on Characteristics of Soil Al in Tea Plantations

ZHANG Yanping, ZONG Lianggang*, SHI Yanfu

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The toxicity of aluminum (Al) in soils depends on its chemical forms. Tea (*Camellia sinensis* L.) is typical acidophilous and poly-Al plants. In order to understand the characters of Al in tea plantation soils, forms of active Al were studied based on the analysis of soil samples at different tea plantations in different years with sequential chemical extraction procedure, the transformation of Al forms and affecting factors for active Al in the plantation in the process of soil pH increased or decreased were discussed to understand the characteristics of Al. The results showed that digestion of active Al was enhanced during the soil acidification, the difference of Al contents in different forms were significant, decreased in the order of humic acid aluminum (Alh) > Al of hydrous oxide and hydroxide (Aloh) > exchangeable Al (Alex) > organic combined Al (Alo) > water soluble Al (Alw) > inorganic adsorption Al (Alino). Alh and Aloh constituted the dominant part of the total active Al, accounting for more than 80% of the total Al. Soil pH, organic matters and acid capacity were the important factors of Al forms. Aloh, Alino and Alw were translated into Alex during the process of soil acidification, but the situation was opposite with the increase of soil pH. Alo affected the transformation of other Al forms, the content of Alh decreased and was translated to Aloh with pH increased, on the contrary, the content of Alh increased with the process of soil acidification, meanwhile, it promoted the hydrolysis of Alino.

Key words: Tea plantation soil; Aluminum forms; Soil pH change; Affecting factors