

茶叶叶和刺槐叶对茶园土壤酸度的改良效果

王 辉^{1,2}, 王 宁¹, 徐仁扣¹, 黎星辉²

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2. 南京农业大学茶叶研究所, 江苏 南京 210095)

摘 要:通过培养实验,比较研究了茶树老叶和刺槐叶对 2 种酸化茶园土壤的改良效果。结果表明,在酸性茶园土壤中分别加入 5、10 和 20 g·kg⁻¹ 茶树老叶和刺槐叶培养 35 d 后,相对于对照,土壤 pH 值有不同程度的提高,土壤交换性酸减小,土壤交换性钙和镁等交换性盐基离子数量有所提高,土壤毒性铝离子的数量减少。2 种树叶对土壤酸度的改良效果随其加入量的增加而增加,刺槐叶的改良效果好于茶树老叶,2 种树叶对红壤的改良效果优于其对黄棕壤的改良效果。植物物料所含的灰化碱及豆科植物所含大量有机氮的矿化是导致土壤酸度下降的主要原因。

关键词:茶园土壤;土壤酸度;树叶;酸性土壤改良

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)08-1597-05

Amelioration Effect of Tea Tree Leaves and Acacia Leaves on the Acidity of Tea Garden Soils

WANG Hui^{1,2}, WANG Ning¹, XU Ren-kou¹, LI Xing-hui²

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Institute of Tea Science, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Amelioration of two acidic soils (i.e., Ultisol and Alfisol) from tea gardens was investigated with incubation experiments using the old leaves of tea plants and acacia. The results indicated that the old leaves of tea plants and acacia increased the pH and exchangeable Ca²⁺ and Mg²⁺ of both soils. This caused the decrease in soil exchangeable acidity and toxic aluminum ions in the soils after the soils incubated with these two leaves for 35 days at the rate of 5, 10 and 20 g·kg⁻¹. The amelioration effect of the leaves on soil acidity increased with the increase in the amount of the leaves added. Comparing these two leaves the acacia leaves showed the greater amelioration effect than the tea tree leaves. On the other hand the amelioration effect of these leaves on acid Ultisol is greater than that on acid Alfisol. The decrease of soil acidity was ascribed to the ash alkalinity and the mineralization of organic nitrogen in these leaves.

Keywords: tea garden soil; soil acidity; tree leaves; amelioration of acid soil

茶树是一种喜酸好铝的特种经济作物,酸性土壤是茶树生长所必需的生态条件之一。茶树生长过程中落叶增加土壤表层的含 Al 量及根系分泌大量的有机酸,使茶园土壤存在自然酸化作用^[1]。另一方面,铵态氮肥的大量使用及酸沉降的增加也加速了茶园土壤的酸化^[2]。但并非土壤越酸,茶树生长越好。一般来说,

土壤 pH 值为 4.5~6.0 时均适宜茶树生长^[3],其中 5.5 是最适值。当 pH 低于 4.0 时茶树生长受到抑制,影响茶叶产量和品质。因此,对强酸性茶园土壤进行改良,将土壤 pH 和土壤酸度调节到合适范围可以提高茶叶的产量和品质。

改良土壤酸度的传统和有效方法是施用石灰和石灰石粉^[3],施用石灰不仅可以中和土壤酸度,减轻铝对植物的毒害,而且可以增加土壤中营养元素钙的含量,有利植物生长。但茶树生长要求土壤中的钙和镁保持一定的比例^[4],如果石灰施用不当导致土壤钙镁养分失衡,反而会对茶树生长和茶叶的品质产生不良的影响。近年来的研究表明,某些农作物的秸秆和树

收稿日期:2008-12-13

基金项目:国家自然科学基金(30872009);江苏省自然科学基金资助研究(BK2006253);江苏省科技攻关计划(BE2007301, BE2008320-2)

作者简介:王 辉(1979—),女,河南洛阳人,博士生,从事茶园土壤酸化及其控制研究。

通讯作者:徐仁扣 E-mail:rkxu@issas.ac.cn

木的落叶对土壤酸度有一定的改良效果,当它们加入酸性土壤后能够很快提高土壤的 pH 值^[5-8]。但现有的研究主要针对酸性农用土壤,涉及酸性茶园土壤的报道很少。我们近期的研究发现农作物秸秆也能提高茶园土壤的 pH 值^[9]。本文选择茶树老叶和刺槐叶研究树木落叶对茶园土壤酸度的改良效果,并探讨 2 种树叶改良茶园土壤酸度的机制。

1 材料和方法

1.1 土壤和植物物料

供试黄棕壤(淋溶土-中国土壤系统分类)采自江苏南京市浦口区,种茶时间约 30 a,采样深度为 0~10 cm,土壤有机质含量为 33.76 g·kg⁻¹,阳离子交换量为 17.72 cmol(+)·kg⁻¹,土壤 pH 为 4.57。供试红壤(富铁土-中国土壤系统分类)采自江西鹰潭,采样深度为 0~10 cm,土壤有机质含量为 25.74 g·kg⁻¹,阳离子交换量为 8.72 cmol(+)·kg⁻¹,土壤 pH 为 4.52。2 种土壤样品自然风干,根据实验需要分别研磨过 1 和 2 mm 筛备用。2 种植物物料分别为茶树老叶和刺槐老叶(豆科树种),2 种植物物料均采自南京及周边地区,80 ℃下烘干磨细过 2 mm 筛备用。

植物物料灰化碱用马弗炉灰化、酸溶解和 NaOH 返滴定法测定^[10]。将 2.0 g 植物样品置于 50 mL 的陶瓷坩埚中,在马弗炉中慢慢加热至 200 ℃,并维持 1 h,然后再加热至 500 ℃并维持 4 h。将灰化的样品溶于 20 mL 1.0 mol·L⁻¹ 的标准 HCl 溶液中,取 5 mL 酸溶液用 0.25 mol·L⁻¹ 的 NaOH 滴定至中性,根据酸碱滴定的结果计算灰化碱的量。另取一份植物灰化物的酸溶液,用原子吸收光谱法测定植物物料钙、镁含量,火焰光度法测定钾含量。植物物料的总碳和总氮含量用碳氮分析仪测定。植物物料化学成分列于表 1。

1.2 培养实验

称取 150 g 过 2 mm 筛的风干土放入塑料杯中,分别加入 0.75、1.5 和 3 g 茶叶或刺槐叶(相当于 5、10 和 20 g·kg⁻¹),混合均匀后,用去离子水将混合体系的含水量调节至土壤田间持水量的 70%(土壤田间持水量用环刀法测定),以保证土壤呈湿润和通气状态^[8]。

表 1 植物物料的化学成分

Table 1 Content of elements and ash alkalinity of plant materials used

植物物料	灰化碱	Ca	Mg	K	总 C	总 N
		/cmol·kg ⁻¹			/%	
茶树老叶	57.28	31.17	5.14	41.92	48.86	2.97
刺槐老叶	131.84	114.68	5.25	22.18	44.93	2.75

用塑料保鲜膜将塑料杯封口,并在保鲜膜中间留一个小孔,以便气体交换并减少水分损失^[8]。然后将烧杯置于 25 ℃的恒温培养箱中培养,每隔 3 d 称重 1 次并补充水分,以保持土壤含水量恒定。在培养开始后的第 1、3、6、13、21、35 d 取新鲜土样测定 pH 值。每个处理重复 3 次,并设不加植物物料的处理作为对照。培养实验持续 35 d,培养结束后将土壤样品取出风干,磨细过 1 mm 筛备用。

1.3 培养结束后土壤分析方法

土壤 pH 按土水比 1:2.5 搅拌土样,用复合电极法测定;土壤交换性铝、交换性氢、交换性酸用 1 mol·L⁻¹ KCl 淋洗,NaOH 滴定法测定^[11];土壤交换性盐基离子用 1 mol·L⁻¹ 醋酸铵提取,提取液中的 Ca²⁺和 Mg²⁺用原子吸收分光光度法测定^[11];可溶性铝用去离子水按 1:2.5 的土水比提取,8-羟基喹啉比色法测定^[12];无机单核铝用氟离子电极法测定^[13]。

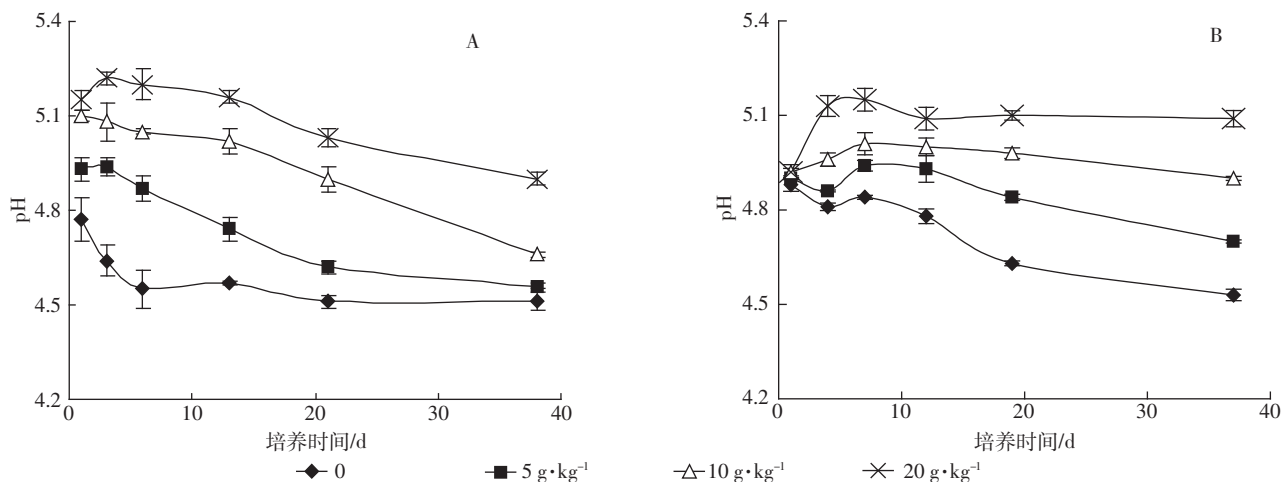
2 结果和讨论

2.1 植物物料对茶园土壤 pH 的影响

2 种酸性土壤加入不同量的茶树老叶培养过程中土壤 pH 变化趋势如图 1 所示。黄棕壤对照体系在培养过程中土壤 pH 逐渐降低,第 6 d 后基本达到稳定状态。加入不同量茶叶后土壤 pH 随培养时间的延长逐渐降低。这主要由于土壤含有一定量的铵态氮,培养过程中铵态氮的硝化反应导致土壤 pH 降低。加入茶树老叶的体系在培养过程中土壤 pH 均高于对照体系,而且随着茶叶加入量的增加,土壤 pH 与对照之间的差值增大。培养实验结束时(第 35 d),茶叶加入量为 5、10 和 20 g·kg⁻¹ 时,土壤 pH 相对对照分别升高了 0.05、0.15、0.39 个单位。茶园红壤与茶叶混合培养过程中土壤 pH 的变化趋势与黄棕壤相似,培养实验结束时相应茶叶加入量下土壤 pH 相对对照分别升高了 0.17、0.37、0.65 个单位。与黄棕壤相比,茶叶对红壤酸度的改良效果更好。

2 种酸性茶园土壤与刺槐叶混合培养过程中,土壤 pH 的动态变化趋势如图 2 所示。对照及加入刺槐叶处理体系土壤 pH 的动态变化趋势与图 1 的结果相似。培养实验结束时,当刺槐叶的加入量分别为 5、10 和 20 g·kg⁻¹ 时,黄棕壤 pH 分别升高了 0.05、0.15 和 0.39,红壤 pH 分别升高了 0.17、0.37 和 0.56。刺槐叶对红壤酸度的改良效果优于其对黄棕壤的改良效果,与茶树老叶的结果相似。

植物物料对土壤酸度的改良效果受下列几方面

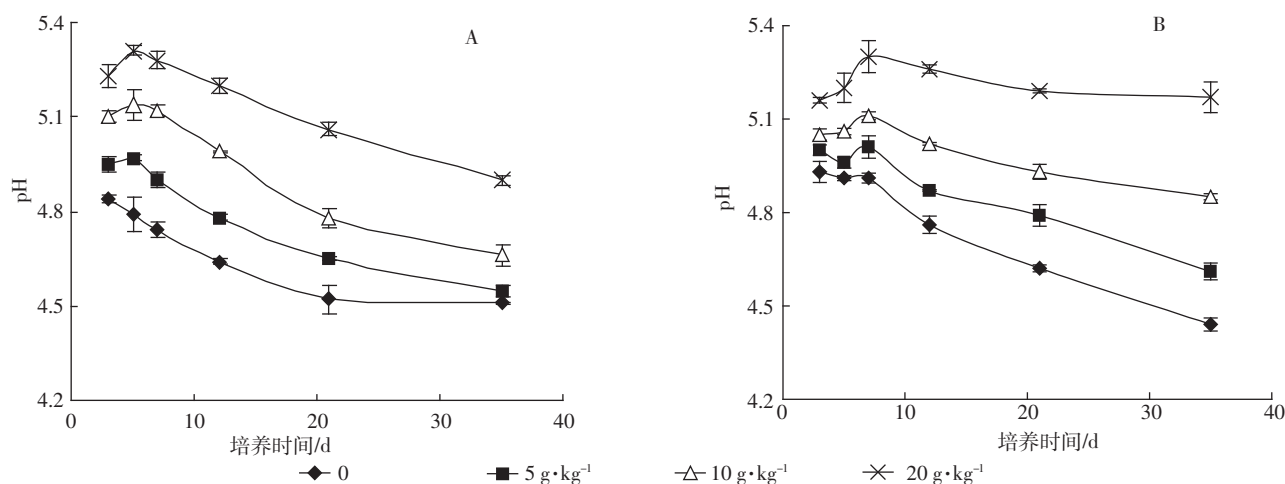


A.黄棕壤; B.红壤;图中标出了每个数据点的标准差

A and the Ultisol B Standard error of each point is shown with a bar

图1 加入茶树老叶对茶园黄棕壤和茶园红壤 pH 的影响

Figure 1 Effect of the old leaves of tea plants on the pH of the Alfisol



A.黄棕壤; B.红壤;图中标出了每个数据点的标准差

A and the Ultisol B Standard error of each point is shown with a bar

图2 加入刺槐叶对茶园黄棕壤和茶园红壤 pH 的影响

Figure 2 Effect of the old leaves of an acacia on the pH of the Alfisol

因素的影响^[5-6,8]:植物物料中灰化碱的释放直接中和土壤的酸度;微生物分解植物物料,有机氮矿化形成铵态氮,这一过程消耗质子,提高了土壤的 pH 值;矿化产生的铵态氮的硝化作用会释放质子,导致土壤 pH 降低。相关反应方程式如下:

脱羧基反应: $R-CO-COO^- + H^+ = R-CHO + CO_2$

矿化反应: $R-NH_2 + H_2O + H^+ = NH_4^+ + R-OH$

硝化反应: $NH_4^+ + 2O_2 = NO_3^- + H_2O + 2H^+$

植物物料对土壤酸度的最终改良效果是上述影响因素综合作用的结果。培养实验过程中释放的灰化

碱可以中和土壤酸度,提高土壤 pH^[6];植物物料中有机氮的矿化过程消耗质子,也使土壤 pH 升高^[8]。但由于矿化过程中产生的铵态氮的硝化作用释放质子,会抵消植物物料的部分改良效果^[8]。从表 1 的结果可以看出,2 种树叶的氮含量相差不大,但刺槐叶的灰化碱含量比茶树叶高得多(表 1),这是刺槐叶对土壤酸度的改良效果优于茶树叶的主要原因。由于植物物料中的灰化碱能很快释放,植物物料加入土壤后,土壤 pH 很快升高(图 1 和图 2)。而铵态氮的硝化过程在有机氮的矿化之后发生,相对滞后。

传统观点认为茶树凋落物中铝的生物地球化学循环是茶园土壤酸化的重要机制^[1],但本文结果表明,茶树老叶对茶园土壤酸度具有明显的改良作用,梁月荣等也观察到类似现象^[14]。看来对茶树落叶与茶园土壤酸化的关系还有待进一步研究。可能的机制是:种茶初期,茶园土壤处于中性至弱酸性范围,此时茶树凋落物的分解产物会加速土壤酸化,模拟土柱淋溶实验结果证明了这一点^[15]。但长期种茶会导致土壤严重酸化,此时茶树凋落物中的碱性物质会中和土壤酸度,提高土壤 pH。本文观测到的结果属于后一种情况。

2.2 交换性铝和交换性盐基阳离子

土壤酸化导致土壤交换性酸增加,交换性盐基阳离子数量减少。2 种茶园土壤加入植物物料后,土壤中交换性酸和交换性铝的数量相对于对照均有所下降,土壤交换性钙和镁的含量有所增加。如表 2 所示,加入有机物料后红壤交换性酸以及交换性钙和镁的变化更显著,刺槐叶对土壤交换性能的影响程度大于茶树叶。以刺槐树叶为例,当其加入量为 20 g·kg⁻¹时,黄棕壤交换酸比对照下降 70.8%,交换性钙比对照增加 48.3%;红壤交换性酸比对照下降 78.2%,交换性钙增加至对照的 3.33 倍。与交换性钙相比,加入植物物料后土壤交换性镁的增加幅度较小,这与植物物料中钙、镁的含量一致。如表 1 所示,刺槐叶中钙含量比镁含量高得多。

树木在生长过程中从土壤中吸收盐基离子,使树叶中含有一定量的钙和镁等盐基离子(表 1)。当树

叶加入土壤后,树叶中的盐基离子释放出来,增加土壤的交换性盐基的数量。豆科类植物由于生物固氮作用,其根系吸收的无机阳离子的数量大于无机阴离子,导致豆科植物体内比非豆科植物积累更多的盐基阳离子,这是刺槐叶中钙含量比茶叶高得多的主要原因,也是刺槐叶使土壤交换性钙增加更显著的主要原因(表 1)。土壤酸化导致土壤交换性 Ca²⁺、Mg²⁺和 K⁺等盐基性养分离子大量淋失,加入茶树老叶和刺槐叶增加了土壤的交换性 Ca²⁺和 Mg²⁺。因此,向酸性茶园土壤中加入 2 种树叶不仅中和了土壤的酸度,还增加了土壤 Ca²⁺和 Mg²⁺等养分含量,这将更有利于茶树的生长。

2.3 土壤可溶性铝

茶园土壤加入 2 种树叶培养 35 d 后土壤溶液中总可溶性铝及 3 种无机单核形态铝的变化趋势如表 3 所示。加入 2 种树叶后土壤中总可溶性铝、Al³⁺和羟基络合态铝(Al-OH)的量均有不同程度的减小,刺槐叶的作用大于茶树叶,红壤中铝的降幅更大,这些结果与土壤 pH 和交换性铝的结果一致。Al³⁺和 Al-OH 是目前已明确对植物具有毒性的可溶铝形态,加入刺槐叶和茶树叶后 2 种形态铝数量减小,说明土壤经过改良后铝毒对植物的危害减小。特别是土壤加入 20 g·kg⁻¹的刺槐叶后,2 种毒害形态铝与对照相比降到了很低的水平。Al-F 络合物是土壤溶液中主要的无机单核形态铝,表 3 结果表明,除黄棕壤加茶树叶处理外,黄棕壤加刺槐叶和红壤加 2 种树叶后土壤溶液

表 2 植物物料对土壤交换性能的影响					
Table 2 Effect of tree leaves on soil exchangeable properties					
土壤	植物物料处理/ g·kg ⁻¹	交换性酸	交换性铝	交换性钙	交换性镁
		/cmol(+)·kg ⁻¹			
黄棕壤	对照	3.97	3.76	8.09	1.95
	茶树叶	5	3.53	3.24	2.03
		10	3.14	2.98	2.12
		20	2.59	2.42	2.12
	刺槐叶	5	3.0	2.71	2.11
		10	2.58	2.41	2.18
		20	1.16	1.06	2.30
	红壤	对照	4.12	4.01	0.40
		5	3.89	3.89	0.65
		10	3.13	3.06	0.81
		20	2.78	2.78	0.98
	刺槐叶	5	2.94	2.88	0.63
		10	1.78	1.69	0.66
		20	0.90	0.83	0.87

表 3 植物物料对土壤可溶性铝的影响					
Table 3 Effect of tree leaves on soil soluble Al					
土壤	植物物料处理/ g·kg ⁻¹	总可溶铝	Al ³⁺	Al-OH	Al-F
		/μmol·kg ⁻¹			
黄棕壤	对照	457.5	1.15	0.67	241.2
	茶树叶	5	450.0	0.85	277.8
		10	445.0	0.62	288.9
		20	435.0	0.21	249.5
	刺槐叶	5	362.5	0.70	246.8
		10	315.0	0.42	209.6
		20	221.0	0.06	118.1
	红壤	对照	184.8	13.70	131.8
		5	83.0	3.20	42.6
		10	74.0	0.18	24.2
		20	122.5	0.27	33.3
	刺槐叶	5	77.0	1.10	53.4
		10	42.3	0.08	17.9
		20	43.3	0.01	3.3

中 Al-F 的量也显著减小。虽然 Al-F 络合物对植物的毒性不大,但当 Al^{3+} 与 F 形成络合物后其移动性增强。因此,加入树叶不仅可以降低铝对植物的毒性,而且可以降低铝在土壤中的活动性。

酸性茶园土壤施入植物物料(树叶)可以不同程度地提高土壤 pH 值,降低土壤酸度,增加土壤的盐基阳离子的数量,降低土壤可溶铝对植物的毒害作用。铝的溶解度在很大程度上取决于土壤 pH 值,维持根际较高的 pH 值可以有效降低铝的溶解度,从而有效减轻铝毒。土壤和植物是一个碳氮循环体,植物在生长过程中体内会积累大量的有机阴离子(碱)^[6],当植物产品从土壤上移走时,这些碱类物质也随之移走。茶树属于富铝作物,刺槐为豆科树木,它们都能从土壤中吸收大量的阳离子,导致植物体内有机阴离子(碱)数量随之增加。固氮树种落叶量较大,枯枝落叶的养分及灰分物质含量较高,且分解快。当它们进入土壤中,可以释放盐基离子和有机酸阴离子(碱),植物灰化碱中和土壤中的酸性物质、盐基离子取代土壤中的交换性铝,从而改良土壤的理化性状,提高土壤的质量。植物物料对土壤酸度的改良作用有助于茶树对植物营养元素的有效吸收和利用,提高茶叶的产量和品质。

茶树老叶加入酸性茶园土壤后降低了土壤中的交换性酸和交换性铝,对土壤酸度起到一定程度的改良作用。这与前人关于茶园凋落叶中铝的生物地球化学循环是加速土壤酸化的主要原因的观点不一致。因此,关于茶树加速土壤酸化的微观机制还有待今后的进一步研究。

参考文献:

- [1] 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[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 229-236.
DING Rui-xing, HUANG Xiao. Biogeochemical cycle of aluminum and fluorine in tea garden soil system and its relationship to soil acidification[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1991, 28(3): 229-236.
- [2] 石锦芹,丁瑞兴,刘友兆,等. 尿素和茶树落叶对土壤的酸化作用[J]. 茶叶科学, 1999, 19(1): 7-12.
SHI Jin-qin, DING Rui-xing, LIU You-zhao, et al. Acidification of soil by urea and fallen tea leaves[J]. *Journal of Tea Science*, 1999, 19(1): 7-12.
- [3] 廖万有. 我国茶园土壤的酸化及其防治[J]. 农业环境保护, 1998, 17(4): 178-180.
LIAO Wan-you. Soil acidification in tea gardens in our country and its control[J]. *Agroenvironmental Protection*, 1998, 17(4): 178-180.
- [4] 吴 洵. 茶树的钙镁营养及土壤调控[J]. 茶叶科学, 1994, 14(2): 115-121.
WU Xun. Calcium and magnesium nutritions for tea plants and their soil controls[J]. *Journal of Tea Science*, 1994, 14(2): 115-121.
- [5] Pocknee S, Sumner M E. Cation and N contents of organic matter determine its soil liming potential[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(1): 86-92.
- [6] Noble A D, Randall P J. Alkalinity effects of different tree litters incubated in an acid soil of N S W, Australia[J]. *Agroforestry Systems*, 1999, 46(2): 147-160.
- [7] Tang C, Yu Q. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation[J]. *Plant and Soil*, 1999, 215(1): 29-38.
- [8] Xu R K, Coventry D R. Soil pH changes associated with lupin and wheat plant materials incorporated in a red-brown earth soil[J]. *Plant and Soil*, 2003, 250(2): 113-119.
- [9] Wang N, Li J Y, Xu R K. Use of various agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil[J]. *Soil Use and Management*, 2009, 25: 128-132.
- [10] Slattery W J, Ridley A M, Windsor S M. Ash alkalinity of animal and plant products[J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1991, 31(1): 1-4.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
LU Ru-kun. Analysis methods of soil and agro-chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [12] 李九玉,徐仁扣,季国亮. 8-羟基喹啉(pH8.3)分光光度法测定酸性土壤中的可溶性铝[J]. 土壤, 2004, 36(3): 307-309.
LI Jiu-yu, XU Ren-kou, JI Guo-liang. Determination of soluble Al in acid soil solution using spectrophotometry with 8-Hydroxyquinoline at pH8.3[J]. *Soils*, 2004, 36(3): 307-309.
- [13] 徐仁扣,季国亮. pH 对酸性土壤中铝的溶出和铝离子形态分布的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 162-171.
XU Ren-kou, JI Guo-liang. Influence of pH on dissolution of aluminum in acid soils and the distribution of aluminum ion species[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(2): 162-171.
- [14] 梁月荣,赵启泉,陆建良,等. 茶树修剪叶和不同氮肥对土壤 pH 和活性铝含量的影响[J]. 茶叶, 2005, 26(4): 205-208.
LIANG Yue-rong, ZHAO Qi-quan, LV Jian-liang, et al. Effect of pruned tea leaf and various nitrogen fertilizers on soil pH and activated aluminum content[J]. *Journal of Tea*, 2005, 26(4): 205-208.
- [15] 石锦芹,丁瑞兴,潘 磊. 尿素和茶树落叶对荒地土壤元素迁移的影响[J]. 茶叶科学, 1999, 19(2): 125-130.
SHI Jin-qin, DING Rui-xing, PAN Lei. Influence of urea and fallen tea leaves on element leaching in uncropped soils[J]. *Journal of Tea Science*, 1999, 19(2): 125-130.
- [16] Yan F, Schubert S, Mengel K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(4/5): 617-624.