

三种林木凋落叶淋滤液性质及对赤红壤硼锌的影响^①

曹 珍^{1,2}, 刘姝媛^{1,2}, 曾曙才^{1,2*}

(1 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2 农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642)

Leachate Properties of Three Leaf Litters and Their Effects on B and Zn Adsorption by Lateritic Red Soil

CAO Zhen^{1,2}, LIU Shu-yuan^{1,2}, ZENG Shu-cai^{1,2}

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China)

摘要: 采用室内淋洗方法研究了尾叶桉、藜蒴和湿地松 3 种林木凋落叶分解过程中淋滤液性质及其对赤红壤 B、Zn 吸附-解吸的影响。每 2 个月淋洗一次凋落叶, 共 6 次。结果表明, 尾叶桉、藜蒴和湿地松凋落叶失重率分别为 29.37%、13.37% 和 4.68%; 3 种凋落叶淋滤液均呈酸性, pH 值介于 5.08 ~ 6.37, 其中藜蒴最高, 尾叶桉最低; 淋滤液电导率, B、Zn 浓度均以藜蒴最大, 湿地松最小, 树种间差异显著 ($p < 0.05$); 各指标在分解过程中呈先降后回升的趋势。用淋滤液浸提赤红壤时, 前 3 次淋滤液中的 B 被土壤吸附, 平均吸附量尾叶桉 (0.821 mg/kg) > 藜蒴 (0.428 mg/kg) > 湿地松 (0.394 mg/kg); 后 3 次淋滤液使土壤 B 解吸, 平均解吸量尾叶桉 (0.419 mg/kg) > 湿地松 (0.392 mg/kg) > 藜蒴 (0.238 mg/kg)。与 B 不同, 土壤从 3 种凋落叶的各次淋滤液中均吸附 Zn, 平均吸附量藜蒴 (0.522 mg/kg) > 尾叶桉 (0.391 mg/kg) > 湿地松 (0.100 mg/kg)。表明 3 个树种的凋落叶淋滤液性质相似, 对 B、Zn 的影响规律基本一致, 但影响程度有显著差异。3 种凋落叶分解均能增加赤红壤 Zn 含量, 但无助于提高土壤原有 Zn 的有效性; 对 B 的影响则因分解期而异。

关键词: 凋落叶; 淋滤液; 硼; 锌; 吸附

中图分类号: S718

森林凋落物是森林生态系统养分循环和能量流动的主要途径和载体^[1]。Chapin 等^[2]研究表明, 大多数自然生态系统内植物所吸收的养分中, 有 90% 以上的 N、P 和 60% 以上的其他矿质元素来自于植被归还给土壤的养分。在森林凋落物中, 落叶是主要部分, 占干质量的 60% ~ 80%, 凋落叶的分解过程反映了森林凋落物养分归还的基本特征^[3]。

森林凋落物分解过程复杂, 是在不同微生物的作用下多种物质(蜡状物、酚醛类、木质素和纤维素等)

的有序分解^[4], 一般包括分解代谢作用(微生物把复杂的有机化合物转化成简单的无机化合物)、粉碎作用(土壤动物对植物凋落物的啃食)和淋溶作用(凋落物中的可溶性物质通过降水而被淋溶)3 个过程^[4]。凋落物经雨水淋洗后, 其淋滤液中的各种组分对土壤性质和养分元素状况产生显著影响^[5-6]。

硼(B)是植物必需的微量营养元素, 比较容易淋失。据广东省土壤普查办公室 1993 年的调查, B 是广东自然土壤中最贫缺的微量元素。Zn 也是植物

^①基金项目: 广东省社会发展计划项目(2008B030302008)、广东省自然科学基金项目(06025810)和农业部生态农业重点开放实验室联合探索课题(2010-LH02)资助。

* 通讯作者 (sczeng@scau.edu.cn)

作者简介: 曹珍(1984—), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事森林土壤生态研究。E-mail: caozhen1984@163.com

必需的微量元素, 同时是污染环境的重金属之一, 而世界范围内自然土壤缺 Zn 现象十分普遍。关于 B、Zn 缺乏引起人工林和作物生长异常或产量低下, 有许多报道^[7-9]。华南赤红壤区水热资源丰富, 凋落物分解比较迅速, 土壤物质淋溶和迁移转化强烈。研究林木凋落物淋滤液的性质及其对土壤 B、Zn 元素溶移的影响, 对于深入认识该地区土壤微量元素化学行为、改善土壤 B、Zn 养分管理有科学意义和实际价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2008 年 3 月, 在华南农业大学树木园采集藜蒴 (*Castanopsis fissa*)、湿地松 (*Pinus elliottii*) 和尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*) 的新鲜凋落叶, 同时采集供试土壤, 为地带性赤红壤, 母岩为花岗岩。测定凋落叶含水量。土壤风干后研磨过 2 mm 筛备用, 基本性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

pH	有机质	全 N	全 P	全 K	碱解 N	速效 P	速效 K	有效 B	有效 Zn
(H ₂ O)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
3.98	17.85	0.55	0.18	1.15	33.01	6.26	19.82	0.09	1.44

1.2 淋洗试验设计

PVC 管 (直径 7.5 cm, 长 27.5 cm) 用去离子水洗净, 底部套尼龙网, 每根管内分别盛装 20 g (干重) 尾叶桉、藜蒴或湿地松的新鲜凋落叶, PVC 管下面用洗净烧杯承接, 进行淋洗试验。每种凋落叶 3 次重复。每隔两天用喷壶浇适量同体积超纯水 (保证凋落叶湿润但无淋滤液流出), 使 PVC 管内凋落物保持湿润, 利于分解。每隔两个月用 200 ml 超纯水淋洗一次, 收集到的淋滤液置于 4℃ 冰箱保存, 供分析和后续试验用。试验研究期限为一年 (2008 年 3 月—2009 年 3 月, 2008 年 5 月进行第一次淋洗)。淋洗试验结束后, 取出管内凋落叶, 烘干, 称重, 计算失重率。

1.3 淋滤液对土壤硼锌溶移影响的试验设计

测定淋滤液 pH 值, 电导率, B、Zn 浓度。取淋滤液 15 ml, 与 1.5 g 土壤混合, 振荡 (300 r/min, 0.5 h), 离心 (3000 r/min, 10 min), 提取上清液。测定上清液中 B、Zn 浓度, 求算土壤从淋滤液中吸附的 B、Zn 量 (若为负值, 则是淋滤液将土壤上的 B、Zn 解吸下来), 计算式如下:

$$\text{吸附量 (负值为解吸量) (mg/kg)} = V_{\text{滤液}} \times (C_{\text{滤液}} - C_{\text{上清液}}) / M_{\pm}$$

式中: $V_{\text{滤液}}$ 为加入淋滤液的体积 (ml), $C_{\text{滤液}}$ 为淋滤液中 B (或 Zn) 浓度 ($\mu\text{g/ml}$), $C_{\text{上清液}}$ 为离心后上清液中 B (或 Zn) 浓度 ($\mu\text{g/ml}$), M_{\pm} 为土壤烘干重 (g)。

1.4 样品测定方法

淋滤液 pH 值用电位法, 电导率用便携式电导率仪 DDB-305 测定; 淋滤液和离心上清液 B 和 Zn 分别采用姜黄素比色法和原子吸收分光光度法测定^[10]。土壤

pH 值用电位法; 有机质用重铬酸钾容量法; 全 N 和碱解 N 用碱解扩散法; 全 P 用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法, 速效 P 用氟化铵盐酸浸提-钼锑抗比色法; 全 K 用氢氧化钠熔融-火焰光度法, 速效 K 用醋酸铵浸提-火焰光度法; 有效 B 用沸水浸提-姜黄素比色法; 有效 Zn 用盐酸浸提-原子吸收分光光度法测定^[10]。

1.5 数据分析

数据用 Excel2003 进行整理, 用 SPSS13.0 软件对数据进行 AVON 分析、Duncan 多重比较和 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 凋落叶失重率

经 1 年室内淋洗试验, 尾叶桉、藜蒴和湿地松凋落叶均有不同程度的分解, 失重率分别为 29.37%、13.37% 和 4.68%。湿地松的失重率最小, 与其针叶质地粗硬、纤维素含量高、透水性差以及高 C/N 比等有关。藜蒴凋落叶失重率也较小, 可能与叶表面有厚角质层有关。有研究表明, 在枯落叶分解后期, 因角质对真菌菌丝的入侵起阻滞作用, 导致枯落叶分解慢, 角质类物质与残留量呈显著正相关关系^[11]。

2.2 凋落叶淋滤液性质

2.2.1 凋落叶淋滤液 pH 值 3 种凋落叶各次淋滤液的 pH 值介于 5.08 ~ 6.37 之间, 均呈酸性。藜蒴凋落叶淋滤液 pH 最大, 平均为 5.85, 与其他 2 种凋落叶有显著差异 ($p < 0.05$)。湿地松和尾叶桉淋滤液 pH 值差异不显著 ($p < 0.05$), 湿地松平均为 5.54; 尾叶桉平均为 5.47。尾叶桉凋落叶淋滤液 pH 值最低, 使土壤

酸化的潜力在 3 个树种中最大，与以往报道的结果相符^[12]。3 种凋落叶淋滤液 pH 值随淋洗次数的变化规律相似，均表现为先下降后上升（图 1）。淋滤液 pH 值的这种变化趋势应与凋落物的分解过程和分解程度有关。

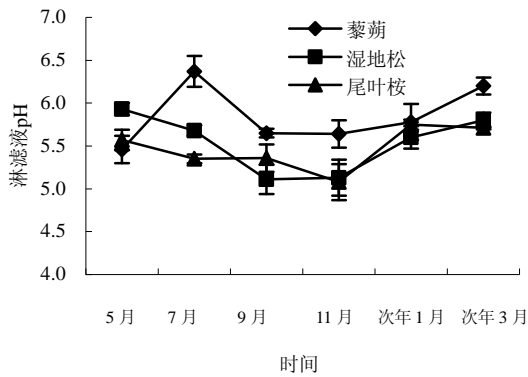


图 1 淋滤液 pH 值变化（图中误差线为标准误，下同。）

2.2.2 凋落叶淋滤液电导率 藜蒴凋落叶淋滤液电导率最大，平均为 230.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；尾叶桉居中，平均 104.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；湿地松最小，平均为 55.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。3 种凋落叶淋滤液电导率差异显著 ($p < 0.05$)。淋滤液电导率的变化趋势与 pH 值基本一致，随淋洗次数的增加先降低后回升（图 2）。

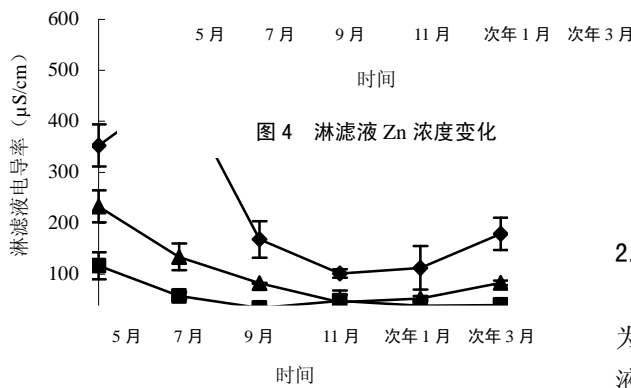


图 2 淋滤液电导率变化

2.2.3 凋落叶淋滤液 B 浓度 凋落叶淋滤液 B 浓度反映凋落物分解归还土壤的 B 量多少。3 种凋落叶淋滤液的 B 浓度存在显著差异 ($p < 0.05$)。藜蒴凋落叶淋滤液 B 浓度最高，平均为 0.203 mg/L；尾叶桉平均为 0.146 mg/L；湿地松最低，平均为 0.054 mg/L。淋滤液 B 浓度随淋洗次数增加呈先降后升的趋势（图 3）。

2.2.4 凋落叶淋滤液 Zn 浓度 从图 4 可以看出，

藜蒴凋落叶淋滤液的 Zn 浓度最大，平均为 0.201 mg/L；湿地松的 Zn 浓度最小，平均为 0.034 mg/L；尾叶桉居中，平均为 0.079 mg/L。各树种淋滤液 Zn 浓度均小于 B。3 种凋落叶淋滤液 Zn 浓度也表现为随淋洗次数增加而降低，后又上升。不同凋落叶后 3 次淋滤液的 Zn 浓度差异不显著。

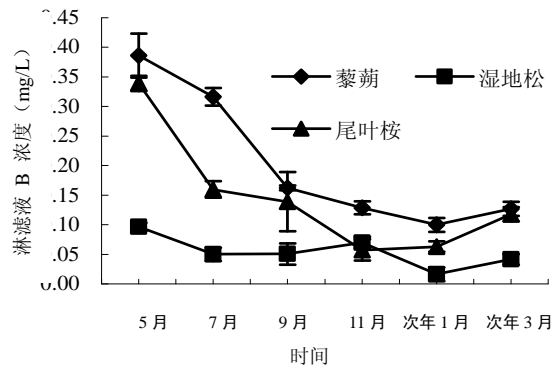


图 3 淋滤液 B 浓度变化

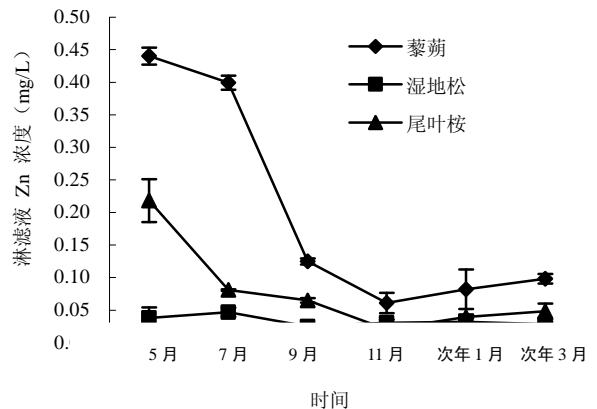


图 4 淋滤液 Zn 浓度变化

2.3 淋滤液对土壤硼锌溶移的影响

凋落叶分解过程中，一方面直接释放养分，作为土壤养分元素的供给源；另一方面，凋落叶淋滤液会促进或抑制土壤原有养分元素的有效性。

2.3.1 淋滤液对土壤 B 的影响 如图 5 所示，土壤从前 3 次淋滤液中吸附 B，3 种凋落叶的吸附量间存在显著差异 ($p < 0.05$)。土壤从尾叶桉凋落叶淋滤液中吸附的 B 最多，平均为 0.821 mg/kg；从湿地松凋落叶淋滤液中吸附的 B 最少，平均为 0.394 mg/kg；而从藜蒴凋落叶淋滤液中吸附的 B 平均为 0.428 mg/kg。用于浸提土壤的各淋滤液中的 B 含量在 0.24 ~ 5.00 μg 之间，被土壤吸附的 B 量占溶液中 B 含量的百分比均小于 2%，说明土壤对 B 的吸附作用较弱。土壤对 B 的吸附易受环境因素的影响，如淋滤

液的 pH 值、淋滤液中其他物质含量和外界温度等^[13]。

后 3 次淋洗产生的淋滤液使土壤 B 解吸 (图 5)。尾叶桉凋落叶淋滤液使土壤 B 解吸最多, 平均 0.419 mg/kg; 藜蒴凋落叶淋滤液解吸土壤 B 最少, 平均为 0.238 mg/kg; 而湿地松凋落叶淋滤液解吸土壤 B 的量平均为 0.392 mg/kg。以往的研究也发现, 不同种类凋落物对土壤物质淋溶和元素溶出能力的作用差异显著^[12]。后 3 次淋滤液 B 浓度低于前 3 次 (图 3), 被吸附在土壤颗粒表面的 B 通过离子交换过程进入溶液, 从而维持土壤与溶液间 B 的动态平衡。淋滤液对 B 的解吸作用, 一方面可以提高土壤 B 的有效性, 同时也增加了土壤 B 的淋失风险。

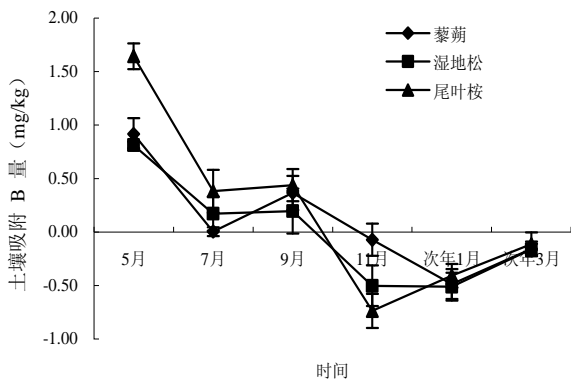


图 5 淋滤液对土壤吸附 B 的影响

2.3.2 淋滤液对土壤 Zn 的影响 有研究表明, 施入土壤中的 Zn 通常在很短时间就几乎完全被土壤吸附, 可以避免 Zn 从土壤中淋失^[13]。Zn 作为重金属元素, 其离子带正电荷, 与带负电的 B 相比, 更易被土壤吸附。本次研究结果显示, 与 B 不同, 土壤从不同树种凋落叶的各次淋滤液中均吸附 Zn (图 6)。土壤从藜蒴凋落叶淋滤液中吸附 Zn 最多, 平均为 0.553 mg/kg; 土壤从湿地松凋落叶淋滤液吸附的 Zn 最少, 平均为 0.100 mg/kg; 从尾叶桉凋落叶淋滤液中吸附的 Zn 量平均 0.391 mg/kg。土壤从凋落叶淋滤液中吸附的 Zn 量随淋洗次数增加而减少, 最后一次又增加, 与淋滤液中 Zn 浓度变化趋势一致 (图 4), 表明土壤溶液 Zn 浓度会影响土壤对 Zn 的吸附。不过, 崔玉侠等人^[14]

研究却发现, 有机溶剂 (含膦酸基、羧基和胺基的草甘膦) 会增加土壤 Zn 的溶出, 说明不同形态有机物对 Zn 的影响存在较大差异。

从上述结果可以看出, 土壤对 Zn 的吸附作用强于 B。虽然后 3 次淋滤液 Zn 浓度都低于 0.100 mg/L, 但土壤仍能从溶液中吸附 Zn。所以, 凋落物分解虽然会向土壤中释放 Zn, 但其中一部分会被土壤吸附, 而淋滤液似不能通过促进土壤 Zn 的解吸作用而提高土壤原有 Zn 的有效性。不过, 郭海彦等人^[15]在茶园土壤中发现覆盖秸秆能有效提高土壤有效 Zn 含量, 所以今后很有必要开展林地现场条件下凋落叶分解对土壤 Zn 影响的研究。

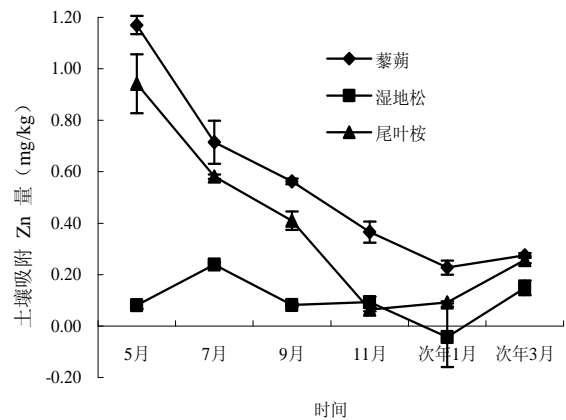


图 6 淋滤液对土壤吸附 Zn 的影响

2.4 淋滤液性质与土壤硼锌吸附量的相关性

相关分析发现, 淋滤液 pH 值与电导率、B、Zn 浓度均呈极显著正相关关系。B、Zn 浓度与电导率亦呈极显著正相关关系, 相关系数分别为 0.849 和 0.814; 淋滤液 B 浓度 (y_1) 与电导率 (x) 的回归方程为 $y_1 = 0.001x + 0.037$, $R^2 = 0.714$, $p < 0.01$; 淋滤液 Zn 浓度 (y_2) 与电导率 (x) 的回归方程为 $y_2 = 0.001x - 0.013$, $R^2 = 0.831$, $p < 0.01$ 。淋滤液 B、Zn 浓度也呈极显著正相关关系, 相关系数为 0.842, 表明 2 种元素的分解释放具有同步效应。

土壤从淋滤液中吸附的 B、Zn 量与淋滤液的 B、Zn 浓度有极显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.661 和 0.749, 说明土壤吸附 B、Zn 的多少受溶液 B、Zn 浓度的影响。

表2 淋滤液各因子与土壤吸附 B、Zn 量的相关性

	淋滤液 pH 值	淋滤液电导率	淋滤液 B 浓度	淋滤液 Zn 浓度	土壤吸附 B 量
淋滤液电导率	0.478**				
淋滤液 B 浓度	0.370**	0.849**			
淋滤液 Zn 浓度	0.364**	0.814**	0.842**		
土壤吸附 B 量	0.076	0.480**	0.661**	0.474**	
土壤吸附 Zn 量	0.263**	0.690**	0.850**	0.749**	0.757**

注: ** 表示在 $p < 0.01$ 水平相关, 未标注表示不相关 ($p > 0.05$), $n = 54$ 。

3 结论

尾叶桉、藜蒴和湿地松凋落叶的分解速率不同, 年失重率分别为 29.37%、13.37% 和 4.68%。3 种凋落叶淋滤液均呈酸性, 尾叶桉淋滤液使土壤酸化的潜力最大。藜蒴凋落叶淋滤液 pH 值、电导率、B 和 Zn 浓度均最大, 尾叶桉的 pH 值最小, 湿地松的电导率、B 和 Zn 浓度均最小。淋滤液的 pH 值、电导率、B 和 Zn 浓度在淋洗过程中均呈现出先下降后回升的变化趋势。

土壤从 3 种凋落叶的前 3 次淋滤液中吸附 B, 后 3 次淋洗的淋滤液使土壤 B 解吸, 且 3 种凋落叶间存在显著差异 ($p < 0.05$)。土壤从淋滤液中吸附的 B 量大小顺序为尾叶桉 > 藜蒴 > 湿地松。淋滤液使土壤解吸 B 的量大小为尾叶桉 > 湿地松 > 藜蒴。与 B 不同, 土壤从 3 种凋落叶的各次淋滤液中均吸附 Zn, 吸附量顺序为藜蒴 > 尾叶桉 > 湿地松。

土壤从淋滤液中吸附的 B、Zn 量与淋滤液的 B、Zn 浓度呈极显著正相关关系。

参考文献:

- [1] 张万儒, 许本彤, 杨承栋, 李彬, 屠星南. 山地森林土壤枯枝落叶层结构和功能研究. 土壤学报, 1990, 27(2): 121-131
- [2] Chapin FS, Matson PA, Mooney HA. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York: Springer-Verlag, 2002
- [3] 许新健, 俞新妥, 陈金耀. 武夷山主要杉木伴生树种落叶分解速率的研究. 南京林业大学学报, 1995, 19(2): 13-18
- [4] 杨玉盛, 林瑞余. 森林凋落物淋溶中的溶解有机物与紫外-可见光谱特征. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(2): 124-128
- [5] Bernhard-Reversat F. The leaching of *Eucalyptus* hybrids and

Acacia Auriculiformis leaf litter: Laboratory experiments on early decomposition and ecological implications in Congolese tree plantations. Applied Soil Ecology, 1999, 12: 251-261

- [6] 徐秋芳, 钱新标, 桂祖云. 不同林木凋落物分解对土壤性质的影响. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 27-31
- [7] White JB, Krause H. Short-term boron deficiency in a black spruce plantation. Forest Ecology and Management, 2005, 152: 323-330
- [8] Will GM. Influence of trace-element deficiencies on plantation forestry in New Zealand. Forest Ecology and Management, 1990, 37: 1-6
- [9] Kaspari M, Garcia MN, Harms KE, Santana M, Wright SJ, Yavitt JB. Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. Ecology Letters, 2008, 11: 35-41
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [11] Gallardo A, Merino J. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of southwest Spain: Influence of substrate quality. Ecology, 1993, 74(11): 152-161
- [12] Guo LB, Sims REH. Litter decomposition and nutrition release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. Agriculture Ecosystems & Environment, 1999, 75: 133-140
- [13] Gu BH, Lowe LE. Studies on the adsorption of boron on humic acids. Canadian Journal of Soil Science, 1990, 70: 305-311
- [14] 崔玉侠, 王玉军, 周东美, 王慎强, 肖安云, 陈玉成. 草甘膦对重金属污染土壤中铜、锌淋溶的研究. 土壤, 2009, 41(5): 840-843
- [15] 郭海彦, 周卫军, 杨珠, 郝金菊, 齐龙波. 湖南省主要茶园土壤锌的形态及其有效性. 土壤, 2007, 39(4): 497-502