

亚热带典型人工林土壤酸化特征及其生物学机理初步分析^①

张文猛^{1,2}, 王兴祥¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 对亚热带典型人工林土壤 pH 和酸化生物学机理的研究表明: 荒草地种植马尾松和木荷 20 年以后土壤的 pH 发生了变化, 在 0~60 cm 处降低了 0.12~0.47 个单位; 垂直方向上在距离树干 10 cm 处马尾松 0~20 cm 土层 pH 低于木荷, 20~60 cm 土层 pH 大于木荷; 水平方向上随着与树干距离的增加土壤 pH 受树木影响的程度逐渐降低, 距离树干 20 cm 处土壤 pH 受树木的影响最大。树干茎流雨可能是树干基部附近土壤加速酸化的重要因素, 根系的分布及其对盐基阳离子的吸收是造成马尾松和木荷土壤剖面出现酸化差异的主导因素。

关键词: 马尾松; 木荷; 红壤; 盐基离子; 吸收速率

中图分类号: X143

土壤酸化是土壤形成过程中一种自然的生物地球化学过程。近几十年的研究结果表明, 土壤酸化有其内在因素(如成土母质、黏土矿物组成、有机质含量等), 也有外部因素(如淋溶、酸雨、农业施肥管理措施等)^[1-3]。目前关于土壤酸化的化学机制已经有较深入的研究, 而其生物学(植物学)机制也正日益得到关注, 一般认为林地土壤酸化的原因是植物和酸雨共同作用的结果, 在某些条件下植物的作用更显著^[4]。关于植物对土壤酸化的影响现已得到共识^[5], 但植物加速土壤酸化的机制尚不明确。因此, 探讨植物在红壤酸化中的作用及其致酸机理, 对全面理解红壤酸化原因, 指导酸性土壤作物布局、绿化植物选择及生态恢复具有重要的意义。

根据前人研究, 林地土壤酸化的生物学机制主要有 3 种类型^[6-9]: ①有机酸性物质的输入: 森林凋落物分解可以产生酸性物质, 有的林冠层可以酸化大气降雨, 这些酸性物质的输入可以引起林地土壤中盐基离子的流失和 pH 的下降。②土壤呼吸产生的 CO₂ 导致酸化: 林地土壤中大量碳酸的输入可以导致盐基离子的流失, 加剧土壤酸化进程; ③盐基离子的重新分配: 树木的生长以及凋落物的产生都需要从土壤中吸收盐基离子, 同时产生大量质子以达平衡。当树木从土壤中吸收大量盐基阳离子后, 随着树木生物量的积累和凋落物的分解, 土壤中阳离子发生循环和再分配, 这

可能导致土壤在某些特定层次的酸化^[10]。

如果上述某种机理在土壤酸化中单独起作用, 那么生态系统达到平衡后土壤的化学性质会产生相应的变化; 如果有机酸性物质的输入引起林地酸化, 我们应该会发现林冠雨有酸化大气降雨的能力, 土壤表层的酸化程度应该最严重(图 1a); 如果土壤呼吸是主要因素, 那么土壤表层不会是酸化程度最严重的, 因为表层 CO₂ 分压很低, 相反在底部 CO₂ 分压高, 酸化也最严重, 所以在底部应该可以发现盐基离子的流失(图 1b); 前两种机理中盐基阳离子都会发生流失, 而第三种机理是盐基阳离子再分配导致林地土壤酸化, 因此根部吸收盐基阳离子最多, 而凋落物分解和林冠雨元素输入最少的地方应该是酸化最严重的地方^[10]。

大部分情况下 3 种机制同时存在, 但不同条件下其主导机制不同。本文以我国亚热带地区两种典型人工林土壤为研究对象, 以荒草地为对照, 比较种植马尾松和木荷 20 年后土壤 pH 值的变化特征, 并从元素循环角度初步分析其生物学机理, 以期对人工林土壤酸化的机理有更深入的了解。

1 材料方法

1.1 研究地区概况

试验样地布置在江西省鹰潭市余江县中国科学院

①基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-438)资助。

* 通讯作者(xxwang@issas.ac.cn)

作者简介: 张文猛(1983—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为红壤生态系统演化和调控研究。E-mail: wenmengzhang@gmail.com

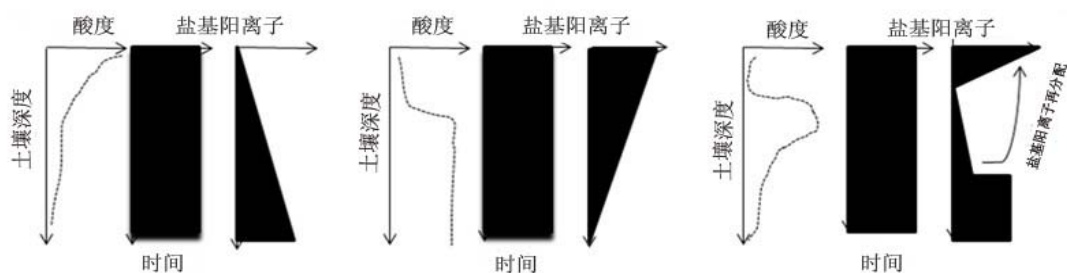


图 1 林下土壤剖面酸化的 3 种机理以及造林后对剖面的影响^[11]

Fig. 1 Three potential mechanisms of soil acidification and their influences on soil profiles after afforestation

红壤生态实验站内, 该实验站位于东经 116°55', 北纬 28°15', 属于我国中亚热带湿润季风气候区, 气候温热多雨, 年均温 17.6℃, 无霜期 262 天, 年降水量 1 794.7 mm, 年蒸发量 1 318 mm; 降水季节分布不均, 干湿季节变化较为明显, 降水多集中在 3—6 月, 夏秋之间旱情频发。土壤为红壤, 母质为第四纪红黏土, 其下为白垩纪红砂岩; 地势开阔连片, 属农、林、牧均宜的多宜性土壤; 地形以低丘岗地为主, 海拔 40~60 m, 相对高度 5~10 m, 坡度 5°~8°^[12]。

1.2 试验设计

1.2.1 土壤样品采集 2009 年 8 月在样地附近选择树龄相近(约 20 年)的马尾松和木荷标准木各 3 株, 测量并估算标准木的胸径、树高、郁闭度等。铲除标准木周围地面的枯枝落叶层, 分别在距离每株林木主茎 10 cm 处挖一深度为 100 cm 的土壤剖面, 采集不同层次的土壤样品, 其中 0~60 cm 每隔 5 cm 为一个层次, 60~100 cm 每隔 10 cm 为一个层次。此外, 水平方向上分别在离树杆 10、20、40、60、80、100 cm 处用土钻多点采取 0~40 cm 深的剖面样品, 每隔 10 cm 为一个层次。同时, 选择 3 个背景值基本相同的荒草地为对照(CK), 采样方法同上。样品风干、磨好过 0.2 mm 筛, 备用。

1.2.2 大气降雨和林冠雨的收集 在样地附近安装 1 台降水降尘自动采样器(APS-3, 湖南湘蓝科技有限公司生产), 采用 L0 模式将每天的降雨降尘收集到 4℃ 冰箱中的收集瓶中; 各样地内安置 9 个穿透雨承接器(面积 30 cm×40 cm), 用 PVC 水管将承接器与 10 L 聚乙烯储水桶连接; 茎流雨由树干茎流采集器(CR2, 四川省煤田地质局阮士松专利产品)收集, 采集器下方接一个 10 L 聚乙烯储水桶, 雨后测量树干径流雨体积(cm³), 换算成雨量深(mm)计算每公顷穿透雨、茎流雨总量^[13], 按季节性降雨频度和强度采集大气降雨、穿透雨和茎流雨样品, 其中在降雨量比较

大的 4—6 月, 为防止雨水溢出储水桶, 每 2 天或 1 天取样 1 次, 其他月份每 5 天采集 1 次样品, 取样后立即置于 4℃ 冷藏, 将每 10 天收集到的样品按体积比例混合作为一次分析样品。

1.2.3 植物样品采集 将 3 株马尾松和木荷标准木砍倒后, 按照叶、枝、干、皮解析, 称其鲜重, 然后分别取 1 kg 左右样品带回实验室烘干至恒重, 测定含水量和化学组分。对于地下部分, 以树干基部为中心取直径 1.5 m 的圆作为调查范围, 沿垂直剖面方向分 0~20、20~40、40~60、>60 cm 四层挖出所有的根系, 按细根(根径 $d \geq 0.2$ cm)、中根($0.2 < d \leq 2.0$ cm)、粗根($d > 2.0$ cm)分开称其鲜重^[14], 各取约 1 kg 鲜样带回实验室烘干至恒重备用。

1.2.4 样品分析 取适量水样于 12 h 内测量 pH (PHS-3CT, 上海康仪)和电导率(DDS-307, 上海雷磁), 剩余样品过 0.45 μm 的滤膜后置于 4℃ 冷藏, 供测定化学组成。其中 K⁺、Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、Al³⁺ 含量用 ICP (Thermo Fisher IRIS-Advantage, 美国热电)测定, NO₃⁻、NH₄⁺ 含量用流动分析仪(San++ System, 香港)测定, SO₄²⁻ 用比浊法测定^[15]。

土壤 pH 值为水浸提(1:2.5)测定; 有机质用重铬酸钾容量法测定; 交换性酸和交换性氢用氯化钾交换-中和滴定法测定, 交换性盐基用醋酸钠浸提后用 ICP (Thermo Fisher IRIS-Advantage, 美国热电)测定。所有植株样品磨碎过 1 mm 筛后用凯氏定氮法测定氮含量, 钾、钠、钙、镁含量消煮后用 ICP 测定^[15]。

1.2.5 数据处理 数据计算和作图分别采用 Excel 2007 和 Sigmaplot10.0 软件, 数据分析采用 SPSS16.0 进行。

2 结果与分析

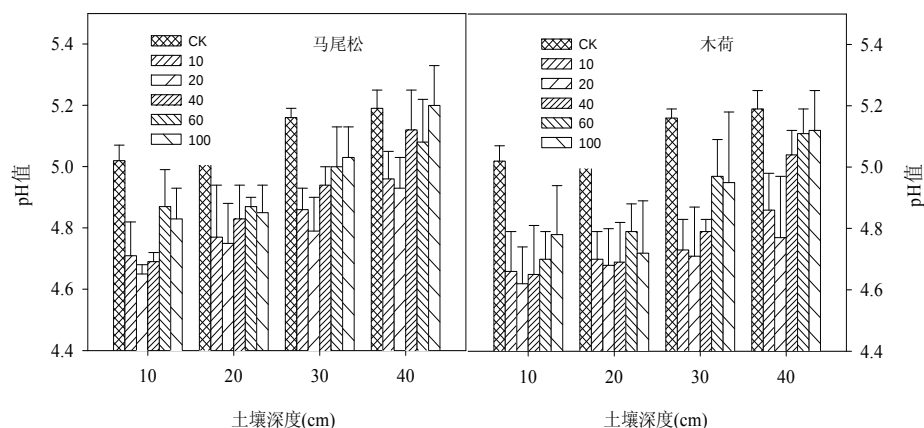
2.1 马尾松与木荷林土壤酸化特征

图 2 显示马尾松和木荷林下土壤水平方向 pH 的变化趋势, 可以看出随着与树干距离的增加, 土壤 pH 受

树木的影响呈降低趋势,距离树干 20 cm 处土壤 pH 受树木的影响程度最大,最低值出现在距离树干 20 cm 处 0~10 cm 表层土壤,比相同深度土壤低 0.03~0.22 个单位。

图 3 显示马尾松、木荷和荒草地土壤垂直方向 pH

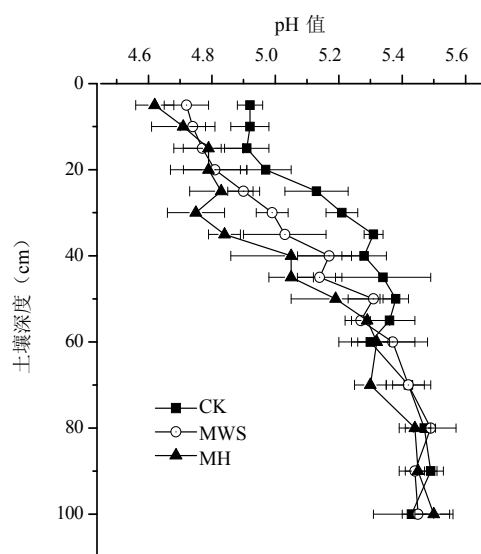
的变化趋势。与荒草地相比,马尾松和木荷土壤的 pH 较低,在 0~60 cm 处土壤 pH 比荒草地低 0.12~0.47 个单位。同时马尾松林下土壤在 0~20 cm 处的 pH 比木荷低 0.02~0.10 个单位,而 20~60 cm 土层则比木荷高 0.05~0.24 个单位。



(图例中 CK: 荒草地土样; 10、20、40、60、100: 取土位置距离树干的垂直距离 (cm))

图 2 马尾松、木荷水平方向土壤 pH 的变化

Fig. 2 Horizontal variations in soil pH near the main stem of *Pinus massoniana* and *Schima superba*



(图例中CK, MWS 和 MH 分别表示荒草地、马尾松和木荷)

图 3 马尾松和木荷树干基部附近土壤 pH 随深度的变化特征

Fig. 3 Vertical variation in soil pH near the main stem of *Pinus massoniana* and *Schima superba*

总的来说,与对照相比,马尾松和木荷土壤 pH 较低,垂直方向上距离马尾松树干 10 cm 处 0~20 cm 土层的 pH 降低幅度大于木荷,而在 20~60 cm 处相反;水平方向上随着离树干距离的增加马尾松、木荷林下

土壤 pH 受树木的影响逐渐降低。

2.2 马尾松、木荷林内雨的化学特征

以往的研究曾观测到针叶林林内雨有酸化大气降雨的现象,例如重庆巴县大气降雨经马尾松林冠冲洗后 pH 由原来 4.85 降到 4.30^[16]。但本研究没有观测到马尾松穿透雨有进一步酸化的趋势(表 1),这与 Liu 等^[17]对台湾南部地区的研究结果相似。观测结果差异的原因可能与当地大气降雨 pH 值有一定关系。表 1 结果表明,大气降雨经过林冠的淋洗、淋溶作用后元素含量发生了很大的变化:除 NO_3^- 、 NH_4^+ 变化不显著外,马尾松和木荷穿透雨、茎流雨中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 离子含量都明显增加。林内雨 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 离子浓度升高的原因是林冠层可以吸附大量的干沉降并分泌一些代谢产物,降雨时大量的离子从林冠层上冲洗下来使林内雨的离子浓度升高。

2.3 根系与凋落物特征

马尾松根系重量的 91.7% 主要集中在 0~20 cm 的表层,在 20~40 cm 以及 40 cm 以下马尾松根系的生物量所占比重很小,只有 8.3%;木荷在 0~20 cm 的土壤根系的生物量占 61.5%,20~40 cm 以及 40 cm 以下木荷根系的生物量占到总根系生物量的 38.5%(表 2)。总的看来马尾松根系在各个层次的生物量均远小

表 1 大气降雨和马尾松、木荷林内雨全年离子浓度^[13](mg/L)

Table 1 Mean concentration of nutrient in gross rainfall, throughfall and stemflow at the two sampling sites

组分	大气降雨	马尾松		木荷	
		茎流雨	穿透雨	茎流雨	穿透雨
pH	4.42	4.48	5.41	4.88	5.65
Ca ²⁺	1.37	3.04	3.46	2.67	3.05
Mg ²⁺	0.16	0.44	0.42	0.42	0.39
K ⁺	0.35	1.57	1.39	2.18	1.51
Na ⁺	0.17	0.21	0.21	0.14	0.20
NH ₄ ⁺	0.66	1.11	0.81	1.52	0.97
SO ₄ ²⁻	3.62	9.71	6.77	9.03	8.25
NO ₃ ⁻	0.43	0.41	0.31	0.54	0.45

注：表中数值是根据收集雨水和测定化学成分数据加权得来。

表 2 马尾松、木荷根系特征

Table 2 Characteristics of root system of *Pinus massoniana* and *Schima superba*

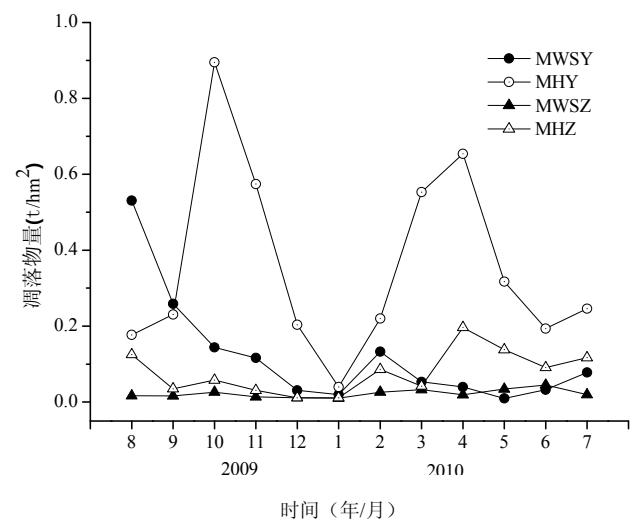
深度 (cm)	马尾松 (t/hm ²)				木荷 (t/hm ²)			
	粗根	中根	细根	合计	粗根	中根	细根	合计
0~20	2.10	2.21	0.91	5.22	4.08	2.53	2.27	8.88
20~40	0.25	0.15	0.06	0.46	2.19	1.47	1.22	4.88
>40	0.01	0.01	0.08	0.01	0.47	0.41	0.12	0.87
合计	2.36	2.37	1.05	5.69	6.54	4.40	3.61	14.43

于木荷，其中 20~40 cm 土层木荷根系的生物量是马尾松根系在相应土层的 10 倍以上。

凋落物是树木重要组成部分，凋落物的数量及质量影响着土壤的化学性质。由图 4 可以看出马尾松和木荷凋落物的生物量具有明显的时间变化特征，其中叶的生物量是双峰曲线，木荷更明显一些。马尾松凋落叶的生物量在 8 月份最大，其次是 2 月份；而木荷是 10 月份最大，其次是 4 月份。木荷的凋落枝的生物量同样具有时间变化特征，8 月份生物量最大，其次是 4 月份；而马尾松的凋落枝时间变化特征不明显。总的来看针叶的马尾松凋落物的生物量要远小于阔叶的木荷。

凋落物元素含量也有明显的季节性特征（图 5），在冬季的几个月份元素含量呈现下降的趋势，在 1、2 月份达到最低，接着元素含量又出现上升的趋势；这可能与冬季气温降低，树木根部活动减弱，吸收能力下降有关，同时与元素转移也有关，因为随着落叶季节到来，叶中的某些元素会发生转移。马尾松叶中元素含量最大的是 N，而木荷叶中含量最大是 K、Ca、Na、Mg 元素总和；马尾松枝中元素含量最大的

是 N，其次是 K、Ca、Na、Mg 元素总和；木荷枝中元素含量最大是 K、Ca、Na、Mg 元素总和，其次是 N 和 P。



(MWSY、MHY、MWSZ 和 MHZ 分别表示马尾松叶、木荷叶、马尾松枝和木荷枝)

图 4 马尾松、木荷凋落物生物量的动态变化

Fig. 4 Litter biomass dynamics of *Pinus massoniana* and *Schima superba*

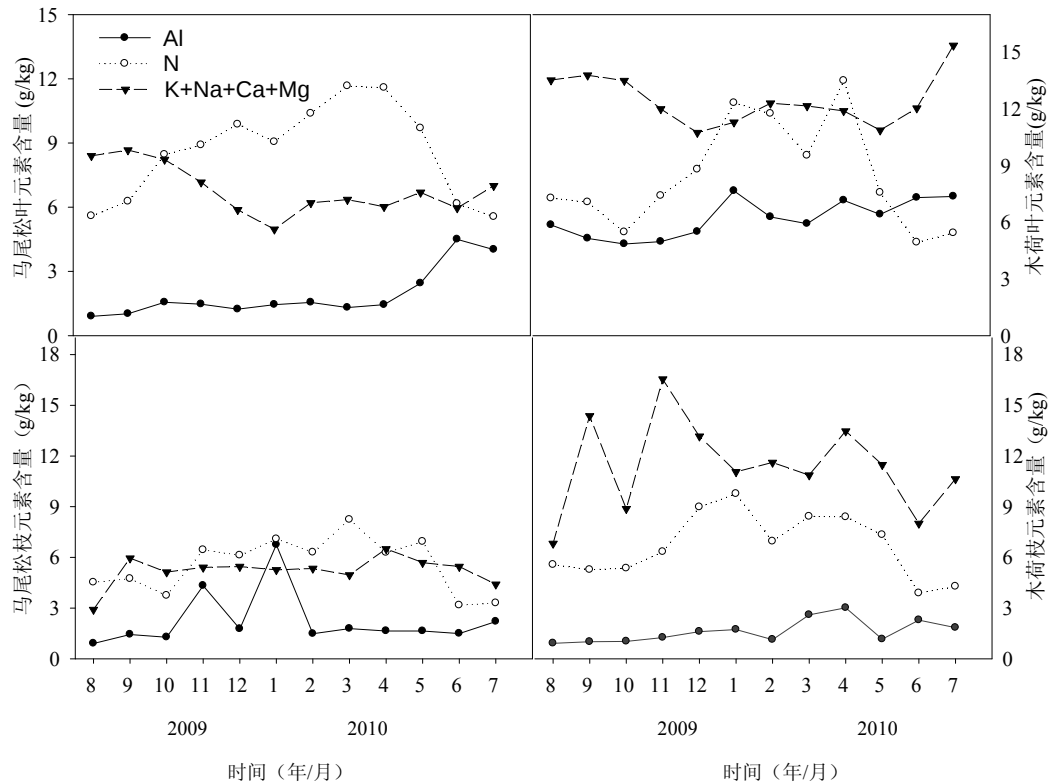


图 5 马尾松、木荷凋落物各元素的动态变化

Fig. 5 Element dynamics in litters of *Pinus massoniana* and *Schima superba*

2.4 马尾松、木荷对盐基阳离子的吸收特征

植被对盐基阳基离子的吸收是重要的土壤酸度源，而植被对氮的吸收是一个碱度来源。因此植被吸收所产生的酸度由两者之差来表示^[18]。表 3 结果表明，3 种生态系统对氮和盐基离子阳离子吸收速率由高到

低为：木荷>马尾松>荒草地。为进一步分析，本文计算了 3 种系统土壤剖面的盐基阳离子分布（图 6），由图 6 可以看出木荷林地土壤中的盐基阳离子在 20 ~ 40 cm 处含量最低，表层含量最高，而马尾松和荒草地相反。

表 3 马尾松和木荷对氮和盐基阳离子的吸收速率

Table 3 Uptake rates of nitrogen and base cation by *Pinus massoniana* and *Schima superba*

生态系统	植株部位	生物量 (t/(hm ² ·a))	盐基离子吸收量 (keq/t)	氮吸收量 (keq/t)	盐基离子吸收速率 (keq/(hm ² ·a))	氮吸收速率 (keq/(hm ² ·a))	植被产生 酸度
马尾松	干	2.870	0.315	0.200	0.903	0.574	0.393
	皮	0.404	0.161	0.121	0.065	0.049	
	叶	0.565	0.199	0.350	0.112	0.197	
	枝	1.094	0.375	0.331	0.410	0.362	
木荷	干	3.392	0.466	0.240	1.582	0.814	1.881
	皮	1.069	0.906	0.306	0.968	0.327	
	叶	0.656	0.443	0.684	0.290	0.449	
	枝	1.096	0.770	0.339	0.844	0.371	
荒草地	地上部	1.010	0.237	0.834	0.240	0.843	0.000
	地下部	1.120	0.125	0.197	0.141	0.221	

注：本文选择的荒草地属自然状态，其枯死后回归土壤系统，假定植物对氮和盐基离子的吸收达到一种动态的平衡，即荒草地对氮和盐基阳离子的净吸收速率为 0，马尾松、木荷年均值是由总的生物量除以生长年限而来；植物吸收产生酸度，本文只计算了干、皮和枝中盐基阳离子和氮的吸收。

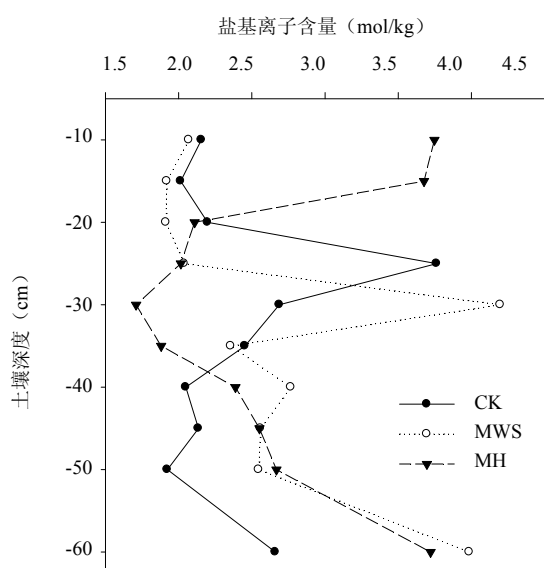


图 6 三种剖面的盐基阳离子含量分布

Fig. 6 Concentrations and distributions of base cation in the three soil profiles

3 讨论

距离树干距离越远, 土壤 pH 受树干的影响越小, 在距离树干 20 cm 处土壤 pH 受影响最大 (图 2)。图 2 结果显示树干近旁表层土壤 pH 已有不同程度的降低, 笔者认为造成马尾松和木荷林近树干表层土壤酸化的重要原因是茎流雨中 H^+ 的大量输入。马尾松和木荷林土壤, 通过降雨营养元素年输入分别达到 18.8 和 73.3 $kg/(hm^2 \cdot a)$, H^+ 年输入量分别达 0.04 和 0.06 $kmol/(hm^2 \cdot a)$ (表 1), 根据茎流雨沿树干下流的动力学特征, 大量雨水易聚集于距离树干 20 cm 处, 因此距离树干 20 cm 处土壤 pH 最低。姚余君等^[19]对东北地区云杉和落叶松林下土壤研究发现两树种树干周围表层土壤 (10 cm) 的 pH 均由树干基部向外围逐渐增加, pH 最低值常出现在树干基部附近, 有的树干周围土壤 pH 等值线呈近似同心圆的分布。由于树干茎流的作用, 日本柳杉树干周围土壤的 pH 也出现明显下降的现象^[19], 因此应加强树干茎流对土壤性质和地上林木影响的进一步研究。

马尾松、木荷林不同层次土壤 pH 存在明显差别 (图 3), 在 0~20 cm 表层马尾松的 pH 小于木荷, 在 20~40 cm 土层则相反。有研究指出木荷凋落物的灰分含量要高于针叶林, 并且阔叶的盐基离子含量以及分解速率高于针叶林^[20], 因此在相同时间和条件下, 与马尾松凋落物相比, 木荷凋落物可向土壤中补充更多的盐基离子和有机质, 提高了土壤的缓冲性; 另外

有研究指出马尾松针叶分解过程中产生的内源酸比较多^[21], 这就很好解释了马尾松树干附近表层土壤的 pH 低于木荷这一现象。从凋落物特征来看, 随着时间延续, 凋落物不断积累, 木荷林表层土壤 pH 最终可能会逐渐提高, 马尾松酸化可能将继续加剧。马尾松在 20~60 cm 深度土壤的 pH 大于木荷, 出现这种现象的原因是马尾松人工林根系分布较浅 (表 2), 主要集中在 0~20 cm, 而木荷的根系主要集中在 0~60 cm, 植物对氮和盐基离子的吸收是土壤酸度的一个重要来源^[3], 当土壤中的盐基离子被根吸收后, 大量的质子释放到土壤中加剧了土壤的酸化, 而且根部能分泌大量的酸性物质, 同样会导致根部周围的土壤酸化。

植被对盐基阳离子的吸收是重要的土壤酸度源, 而对硝态氮的吸收是一个碱度来源^[18]。段雷等^[3]认为, 森林对氮和盐基阳离子的吸收速率公式可用年增长量乘以各元素的含量计算, 3 种系统对氮和盐基离子阳离子吸收速率由高到低为: 木荷 > 马尾松 > 荒草地 (表 3), 结合马尾松和木荷根系分布 (表 2) 可推测根系集中分布土层盐基阳离子的流失最多, 应该是酸化现象比较严重地方 (在不考虑凋落物、林冠雨等输入情况下), 即木荷在 0~60 cm 盐基阳离子含量应该小于马尾松。为了进一步验证推测的合理性, 本文计算了 3 种系统土壤剖面中盐基阳离子分布 (图 6), 由图 6 以看出木荷林地土壤中的盐基阳离子在 20~40 cm 处含量最低, 表层含量最高, 马尾松和荒草地恰好相反。木荷表层土壤盐基阳离子含量没有出现推测中的降低现象, 反而有所升高, 这主要是由于木荷凋落物分解过程中向土壤补充了大量的盐基离子和有机质。因此, 与马尾松相比, 木荷具有较高的缓冲表层土壤酸化的能力。

综上所述, 对盐基阳离子的吸收再分配可能是马尾松和木荷林地土壤 pH 降低的主要原因, 这与 Jobbagy 和 Jackson^[11]对林地土壤酸化机制的研究结论相同。

4 结论

(1) 与荒草地相比, 马尾松和木荷人工林土壤 pH 降低。离树干 10 cm 处的垂直方向上, 马尾松和木荷不同层次土壤 pH 的变化不同, 在 0~20 cm 土层马尾松林土壤 pH 比木荷低 0.02~0.1 个单位, 20~60 cm 土层则比木荷高 0.05~0.24 个单位。盐基阳离子吸收和再分配是马尾松和木荷树干基部土壤酸化的主导因素, 木荷凋落物对表层土壤 pH 的缓冲作用大于马尾松。

(2) 水平方向上随着离树干距离的增加, 马尾松和木荷林下表层土壤受树干的影响逐渐降低, pH 最低出现在距离树干基部 20 cm 处, 树干茎流中大量 H^+ 的输入是造成这种现象的重要因素。

参考文献:

- [1] 张桃林. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [2] 曾希柏. 红壤酸化及其防治. 土壤通报, 2000, 31(3): 110-113
- [3] 段雷, 黄永梅, 郝吉明, 周中平. 中国植被对氮和盐基阳离子吸收速率及其在土壤酸化中的作用. 环境科学, 2002, 23(3): 68-74
- [4] Hruska J, Moldan F, Krám P. Recovery from acidification in central Europe--observed and predicted changes of soil and streamwater chemistry in the Lysina catchment, Czech Republic. Environmental Pollution, 2002, 120(2): 261-274
- [5] Hagen TA, Callesen I, Armolaitis K, Nihlgård B. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. Forest Ecology and Management, 2004, 195(3): 373-384
- [6] Ugolini FC, Dahlgren RA, Shoji S, Ito T. An example of andolization and podzolization as revealed by soil solution studies, southern Hakkoda, northeastern Japan. Soil Science, 1988, 145: 111-125
- [7] Richter DD, Markewitz D. How deep is soil? BioScience, 1995, 45(9): 600-609
- [8] Chaer GM, Myrold DD, Bottomley PJ. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41(4): 822-830
- [9] Raich JW, Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 71-90
- [10] Jobbágy EG, Jackson RB. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry, 2003, 64(2): 205-229
- [11] Jobbágy EG, Jackson RB. The distribution of soil nutrients with depth: global patterns and the imprint of plants. Biogeochemistry, 2001, 53(1): 51-77
- [12] 中国科学院红壤生态试验站. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992
- [13] 张文猛, 王兴祥. 亚热带马尾松和木荷人工林降雨再分配及其化学特征的研究. 中南林业科技大学学报, 2011, 9(2): 15-23
- [14] 刘文飞, 樊后保, 谢友森. 阮宣华闽西北马尾松人工林营养元素的积累与分配格局. 生态环境, 2008, 17(2): 708-712
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [16] 程伯容, 高世东. 森林林冠对酸性降水化学组成的影响. 中国环境科学, 1989, 9(2): 154-157
- [17] Liu CP, King HB, Wang MK, Hsia YJ, Hong JL. Water chemistry and temporal variation of nutrients in stemflow of three dominant tree species in the subtropics of the Fu-Shan Forest. Water, Air and Soil Pollution, 2004, 155(1): 239-249
- [18] Duan L, Huang YM, Hao JM, Xie SD, Hou M. Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification. Science of the Total Environment, 2004, 330(1/3): 187-198
- [19] 姚余君, 张彦东, 任向荣. 云杉和落叶松树干茎流对土壤 pH 值的影响. 东北林业大学学报, 2006, 34(06): 22-25
- [20] 汪思龙, 陈楚莹. 森林凋落物对土壤酸化缓冲作用的初步研究. 环境科学, 1992, 13(5): 25-30
- [21] 李志勇, 王彦辉, 于澎涛, 张治军. 马尾松和香樟的抗土壤酸化能力及细根生长的差异生态学, 2007, 27(12): 5 245-5 253

Characteristics of Soil Acidification and Primary Study of Biological Mechanism of Typical Forest Plantation in Subtropical China

ZHANG Wen-meng^{1,2}, WANG Xing-xiang¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Studies on the soil pH and biological mechanism of typical forest plantation in subtropical China showed that the chemical properties of soil changed noticeably after the *Pinus massoniana* and *Schima superba* were planted for 20 years in waste grassland. Compared to the waste grassland, soil pH was lower 0.12-0.47 unit in *Pinus massoniana* and *Schima superba*. In the vertical direction, soil pH at the depth of 0-20 cm under *Pinus massoniana* was lower than that of *Schima superba*, while the result was contrary at the 20-60 cm layer in soil profile at 10 cm away from the main stem. In the horizontal direction, the influence of trees on soil pH became gradually weaker with the increase of distance to the main stem. Topsoil pH value was the lowest at 20 cm apart from the main stem. A lot of H⁺ was input to the soil near the main stem by stemflow, which may decrease topsoil pH value. The cations uptake and redistribution by the trees were the dominant mechanism of soil acidification in the soil profile, and the difference in root distribution and cations uptake between *Schima superba* and *Pinus massoniana* were main reasons for pH change in soil profiles.

Key words: *Pinus massoniana*, *Schima superba*, Red soil, Base cation, Uptake rate