

不同种植年限下雷竹林土壤中铝的形态变化^①

刘国群¹, 庄舜尧¹, 李国栋², 桂仁意², 方伟²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 浙江林学院生物与技术学院, 浙江临安 311300)

摘要: 研究了不同种植年限下雷竹林土壤中铝 (Al) 的形态及变化。结果表明, 随着种植年限的增加土壤有机质含量及阳离子交换量显著提高, 而土壤 pH 值线性下降; 土壤交换性 Al 及络合态 Al 的含量显著增加, 但土壤游离态 Al、无定形 Al 及总 Al 含量变化并不显著。种植 15 年后的雷竹林土壤中交换性 Al 含量约为对照水稻田的 51 倍, 这极可能对雷竹生长产生毒害作用, 从而影响雷竹的产笋。但集约经营下雷竹生产与土壤 Al 毒及土壤酸化之间的关系值得进一步研究。

关键词: 雷竹; 土壤; 铝; 种植年限

中图分类号: S153.6

Changes of Aluminum Form in *Phyllostachy spraecox. Preveynalis* Soils with Planting Time

LIU Guo-qun¹, ZHUANG Shun-yao¹, LI Guo-dong², GUI Ren-yi², FANG Wei²

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

2 Department of Biology and Technology, Zhejiang Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

雷竹 (*Phyllostachy spraecox. Preveynalis*) 是一种优良的笋用竹种, 具有出笋早、出笋期长、产量高、笋味鲜美等特点。雷竹主要分布在浙江省德清、余杭、临安等地。从 20 世纪 90 年代以来, 雷竹种植区实施了以覆盖酿热增温为主的保护地栽培措施, 生产反季节竹笋, 取得了显著经济效益。然而, 随着林地栽培时间的增加, 雷竹林分退化, 竹笋产量持续下降, 已成为当前雷竹持续丰产高效的障碍。在临安现有的 2.67 万 hm² 雷竹林中, 就有退化竹林 0.67 万 hm²。已有的研究认为, 竹林衰败老化主要是经营管理不合理, 竹林长势趋于弱化, 引起竹林衰败老化^[1]。但根据我们的初步调查发现, 雷竹覆盖种植 5 年后, 雷竹林就会开始出现衰败, 然而衰败的原因与前面所提并没有一致性, 也就是说, 雷竹林衰败的原因极有可能是其他原因所引起。我们前期研究表明, 雷竹衰败的主要原因可能与土壤中水溶性 Al 积累导致雷竹 Al 毒害引起。因此, 本文旨在通过比较不同种植年限下雷竹林土壤中 Al 的形态及变化, 来探究 Al 对雷竹林生长的可能影响, 以期为雷竹的持续高产提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

采样地位于浙江省临安市, 该区属亚热带季风气候, 属丘陵地区, 年平均气温 15.9℃, 最高气温 41.3℃, 最低气温 -13.3℃, 年降水量 1550 mm, 无霜期 236 天。采样点为水稻田和由水稻田改种的雷竹林, 雷竹林每年 11 月下旬至 12 月上旬地表覆盖有机物以增温避冷保湿^[2-3], 日增地温达 4 ~ 5℃。通常是在雷竹林地表先覆 10 ~ 15 cm 稻草, 然后在上面再覆盖 10 ~ 15 cm 的砻糠, 稻草用量 40 t/hm², 砻糠用量 55 t/hm², 次年三四月份揭去未腐烂的砻糠 (一般与新砻糠掺和合并使用 3 次, 逐年新加 1/3); 下层的稻草经过一个冬春的发酵和雨雪水的淋泡已基本腐烂入土。每年施 3 次肥, 时间分别为 5 月中旬, 9 月中旬和覆盖有机物之前。施肥量为无机复合肥 (N:P:K = 16:16:16) 2.25 t/hm² 和尿素 (含 N 460 g/kg) 1.125 t/hm², 或施等量养分的有机肥。

1.2 采样方法

①基金项目: 中国科学院创新前沿项目 (ISSASIP0601) 和国家自然科学基金项目 (40671109) 资助。

作者简介: 刘国群 (1980—), 男, 江西新余人, 硕士研究生, 主要从事森林土壤化学研究。E-mail: gqliu@issas.ac.cn

在地理位置、地形、土壤肥力、土壤理化性质相近的地区采集不同种植年限、由水稻田改种的雷竹林土壤,即 0、1、5、10、15 年,0 年为水稻田。因雷竹根系较浅,主要分布在 0~20 cm 土层,所以本实验采样深度为 0~20 cm,采样时去除土壤表层的枯枝落叶和覆盖物。每个不同种植年限的雷竹林采 3 个土壤样。

1.3 分析方法

样品经风干、研磨、过筛后,测定项目为 pH 值、有机质、阳离子交换量、交换态 Al、游离态 Al、无定形 Al、总 Al。测定方法均参照《土壤农业化学分析法》^[4]。

2 结果与分析

2.1 土壤基本性质

供试土壤的几项基本性质如表 1 所示。由表 1 可见,随着雷竹种植年限增加,土壤有机质含量随之增加,土壤有机质含量和雷竹种植时间之间有显著的相

关性,相关系数为 0.9711 ($R^2=0.9431$, $p=0.0926$)。土壤有机质含量由对照水稻田的 17.8 g/kg 增加到 15 年时的 77.1 g/kg,而在稻田改种雷竹 1 年后土壤有机质含量为 14.4 g/kg,比对照水稻田降低了 3.4 g/kg,这是由于水稻田改种雷竹后,由水田变为旱地,土壤含水量降低,微生物活动增强,部分有机质分解速率加快。雷竹土壤中有机质的增加与其覆盖技术直接相关。雷竹一般在种植 5 年后开始大量产笋,此时才开始覆盖有机物料,而有机物料覆盖直接导致了雷竹林土壤表层中有机质的急剧增加。

从表 1 还可以看出,随着雷竹种植年限增加,土壤阳离子交换量也逐渐增加,特别是 15 年时为 37.2 cmol/kg,约为 10 年时的 2 倍,0 年时的 3 倍。土壤阳离子交换量的增加与有机质的增加几乎是同步的,可见是由于有机质的增加才导致土壤阳离子交换量的增加。土壤阳离子交换量直接反映了土壤的保肥、供肥性能和缓冲能力^[5],从这一指标来看,随着雷竹种植时间的增加土壤的保肥、供肥和缓冲能力是增强的。

表 1 供试土壤样品的基本性质

时间 (年)	有机质 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	pH	
			水(水:土=2.5:1)	KCl(液:土=2.5:1)
0	17.8 ± 0.45 b	13.4 ± 0.15 a	4.84 ± 0.32 c	3.88 ± 0.21 c
1	14.4 ± 0.71 a	14.5 ± 0.32 ab	5.57 ± 0.16 d	4.35 ± 0.25 d
5	25.4 ± 1.61 c	15.6 ± 0.32 b	3.79 ± 0.46 b	2.96 ± 0.57 b
10	44.9 ± 4.55 d	18.9 ± 0.77 c	3.76 ± 0.63 b	2.89 ± 0.75 b
15	77.1 ± 0.44 e	37.2 ± 0.45 d	3.18 ± 0.39 a	2.40 ± 0.43 a

注:不同字母表示为 Duncan 法的 $p<0.05$ 显著差异水平,下同。

随着种植时间的增加,土壤 pH 显著降低。对 pH 与种植时间进行回归分析,其与种植时间为负相关,决定系数分别为 $R^2=0.7607$ (pH_{H_2O}) 和 $R^2=0.817$ (pH_{KCl})。土壤 pH 随种植时间的增加而下降,其原因可能与过量施用化肥、雷竹林每年覆盖的大量有机物分解产生的酸性物质以及雷竹根系分泌有机酸的致酸作用有关。Malhi 等^[6]的研究表明,田间施用 NH_4NO_3 等肥料会使土壤 pH 显著降低;据 Maschner 等^[7]调查研究,在双子叶和非禾本科单子叶植物缺 Fe 时,会向根外分泌 H^+ 和有机酸及酚类物质,造成根际 pH 值降低,活化根际中难溶性 Fe,便于植物吸收利用。郭荣发等^[8]研究发现种植茶树促使土壤的 pH 值降低,这种现象随着种茶时间的延长而变得更加明显,粤北老茶园土壤的 pH 值与同地区的自然土壤相比,平均下降了 1.5 个 pH 单位。

2.2 土壤中 Al 形态的变化

由表 2 可见,土壤交换态 Al (Al_{ex}) 含量在 15 年间是逐渐增加的,从对照的 3.85 mg/kg 增加到了 197.6 mg/kg,增加极其显著;络合态 Al (Al_d) 含量也随种植时间的增加有所增加;游离态 Al (Al_p) 第 1 年比 0 年有所降低,但总体趋势是随着种植时间的增加而增加,从对照的 344 mg/kg 增加到 15 年时的 653 mg/kg;然而,无定形 Al (Al_o) 在不同处理间并没有显著的差异;总 Al (Al_T) 量只有在 15 年时才表现出一定的下降,可能是由于 15 年时土壤 pH 很低,土壤可溶性 Al 含量增多,导致表层土壤中 Al 的淋溶作用加强而往下迁移。其中,对交换态 Al 和络合态 Al 与种植时间进行回归分析,决定系数分别为 $R^2=0.8170$ 和 $R^2=0.9255$,两者均随时间的增加呈现线性增加。

同时,由表 2 可见土壤中 Al 的游离度随种植时间的增加而增大,这主要是由于土壤中络合态 Al 增加的缘故,络合态 Al 是游离态 Al 转化过程中不可缺少的

表2 不同种植时间雷竹林土壤中 Al 的形态

时间 (年)	Al _{ex} (mg/kg)	Al _d (mg/kg)	Al _p (mg/kg)	Al _o (mg/kg)	Al _r (g/kg)	游离度Al _d /Al _r (%)	活化度 Al _o /Al _d
0	3.85 ± 0.24 a	1404 ± 37.6 a	344 ± 6.93 b	2088 ± 34.9 a	54.1 ± 0.62 b	2.60 ± 0.08	1.49 ± 0.04
1	4.25 ± 0.23 a	1583 ± 50.4 b	245 ± 5.03 a	2073 ± 85.2 a	54.0 ± 0.15 b	2.93 ± 0.09	1.31 ± 0.04
5	86.6 ± 6.84 b	1870 ± 12.6 c	545 ± 8.08 c	2217 ± 99.3 a	54.3 ± 0.55 b	3.45 ± 0.04	1.19 ± 0.06
10	91.0 ± 1.51 b	1860 ± 66.1 c	612 ± 13.3 d	2276 ± 82.8 a	52.5 ± 1.25 b	3.55 ± 0.20	1.23 ± 0.08
15	197.6 ± 2.38 c	1800 ± 156.3 c	653 ± 6.43 e	2210 ± 112.6 a	49.4 ± 0.89 a	3.67 ± 0.25	1.23 ± 0.07

一种形态。土壤中的活化度Al_o/Al_d比值一般<1,但在本试验中Al_o/Al_d>1,其原因可能与络合态Al和羟基Al的含量较多有关。络合态Al与有机质含量正相关,但在有机质含量高时,低pH反而抑制羟基Al的形成^[9],而湿润的水分状况有利于羟基Al等无定形物质的形成^[10-11]。因此本试验中Al_o/Al_d>1的现象,可能与土壤有机质、pH以及土壤水分状况等因素有关。

2.3 土壤性质与 Al 形态变化的关系

从表1可以得出,随着雷竹种植时间的增加,土壤有机质含量也增加,而pH则降低。对土壤有机质含量与土壤在KCl和水中的pH分别作指数相关性分析得出,他们之间均呈现显著的负相关性,决定系数分别 $R^2=0.862$ 和 $R^2=0.8213$,即随着有机质含量的增加pH下降。

Thomas^[12]研究发现土壤pH与交换态Al密切相关,在pH5.5以上时几乎没有交换态Al,pH5.0左右交换态Al开始明显增加,pH4.5以下交换态Al可达阳离子交换量的70%。本实验结果也和这一结论基本相符合,由相关分析可得,土壤交换态Al与土壤在KCl和水中的pH的指数相关系数分别为0.9684($R^2=0.9378$, $p=0.0007$)和0.9538($R^2=0.9098$, $p=0.0005$)。徐仁扣和季国亮^[13]也研究发现在酸性土壤中,Al的溶出量随pH的降低而增加。本实验还得出有机质与交换态Al也有密切关系,随着有机质的增加,土壤中交换态Al的含量增加,土壤中交换态Al与有机质的相关性为0.9543($R^2=0.9106$, $p=0.0361$)。赵美珠等^[14]发现,用H₂O₂去除土壤有机质后交换态Al随有机质的降低而降低;向土壤中添加有机质使交换态Al的含量增加,到某一极点后再增加有机质,交换态Al反而降低。

在实验中,我们发现随着雷竹种植时间的增加土壤有机质的含量增加,土壤有机质会对土壤中Al的形态和含量产生影响,其中络合态Al受有机质含量的影响最明显,对土壤有机质含量和络合态Al进行回归分析发现两者之间有较显著的相关性,相关系数为0.8301($R^2=0.6891$, $p=0.0361$)。而有机质对其他

形态Al的影响在本实验中则不明显。土壤酸度的变化易引起络合态Al的分解,俞元春和丁爱芳^[15]的试验结果表明,酸雨pH越低,土壤中腐殖质Al越低。多数土壤中络合态Al的含量与土壤有机质含量呈良好的正相关^[16-17]。络合态Al主要与有机质相关,尤其与焦磷酸钠提取液中有机质显著正相关^[18],土壤中有有机质含量不同,Al的溶出量也不同。

3 结论

随着雷竹种植时间的增加,土壤有机质含量由0年时的17.8 g/kg增加到15年时的77.1 g/kg,阳离子交换量由13.4 cmol/kg增加到37.2 cmol/kg,但同时会对土壤产生很强的酸化作用,土壤pH由5.57下降到3.18(pH_{H₂O})。土壤中游离态Al、无定形Al的变化不显著,而交换态Al、络合态Al呈极显著性增加,15年时土壤中交换态Al含量为197.6 mg/kg是0年时3.85 mg/kg的51倍,络合态Al由344 mg/kg增加到653 mg/kg。在雷竹集约经营中,随种植时间的增加土壤中交换态Al的显著增加,可能对雷竹产生毒害作用并导致雷竹衰败。

参考文献:

- [1] 刘安全,陈辉,李生建. 关中地区竹林现状及衰败原因调查分析. 西北林学院学报, 1993, 8(4): 54-59
- [2] 林海萍,吴家森,付顺华,季宗富. 雷竹笋采后贮藏生理的研究. 江苏林业科技, 2002, 19(4): 16-17
- [3] 周国模,金爱武,何钧潮,王安国. 覆盖保护地栽培措施对雷竹笋用林丰产性能的影响. 中南林学院学报, 1999, 19(2): 52-54
- [4] 中国土壤学会主编. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [5] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 165
- [6] Malhi SJ, Nyborg M, Harapiak JT. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. Soil & Tillage Research, 1998, 48: 91-101
- [7] Marschner H, Romheld V, Zhang F. Mobilization of mineral

- nutrients in the rhizosphere: by root exudates Transactions 14th Interna. Congress of Soil Sci. Vol. 11,1990:158-163
- [8] 郭荣发, 杨杰文. 成土母质和种植制度对土壤 pH 和交换性铝的影响. 生态学报, 2004, 24(5): 985-992
- [9] Sawhney BL. Aluminum interlayers in clay minerals. Trans.7th Int. Cong. Soil Sci., 1960: 476-481
- [10] Sherman GD. Formation of gibbsite aggregates in latosols developed on volcanic ash. Science,1957, 125: 1243
- [11] Sherman GD. Gibbsite-rich soils of the Hawaiian soils. Hawaii Agr. Expt. Sta. Bull.,1958: 116
- [12] Thomas GW. Beyond exchangeable aluminum: Another ride on the merry-go-round. Commun. Soil Sci. Plant Anal.,1988(19): 833-856
- [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. 土壤学报, 1998, 35 (1) : 162-171
- [14] 赵美珠, 罗质超, 高建平. 红壤中交换性铝调节条件的研究 II. 有机质和CaCO₃对交换性铝的影响. 土壤环境, 1999, 8(2): 127-129
- [15] 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. 土壤与环境, 2001, 10 (2) : 87-90
- [16] Lefebver-Drouet E. Aluminum complexed to organic matter in some acid soils. Soil Fert.,1967, 31: 875
- [17] Wada K, Higashi T. The categories of aluminum and iron humus complexes in Ando soils determined by selective dissolution. J. Soil Sci., 1976, 27: 357-368
- [18] 王维君. 我国南方一些酸性土壤铝存在形态的初步研究. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4 (1): 1-8