

文章编号: 1001-1498(2010)04-0586-06

# 毛竹成竹期根际土壤微量元素变化规律

张文元<sup>1,2</sup>, 范少辉<sup>1\*</sup>, 苏文会<sup>1</sup>, 刘广路<sup>1</sup>, 周金民<sup>3</sup>

(1. 国际竹藤网络中心 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102; 2. 江西农业大学园林与艺术学院, 江西 南昌 330045;  
3. 安徽省黄山市黄山公益林场, 安徽 黄山 242700)

**摘要:** 对黄山公益林场毛竹成竹期幼竹生长的根际土壤微量元素、pH值和有机质含量动态进行了测定, 结果表明, 幼竹根际土壤 pH值介于 4.86和 6.04之间, 属于适合幼竹生长的 pH值范围。随幼竹生长, pH值呈开口向下的抛物线形状, 8月中旬达到最高值, 为 6.03; 有机质含量和 Cu含量分别在 7月初和 6月中旬达到高峰, 分别为 38.77和 0.63, 有机质含量在 7月底达到最低点, 而后慢慢升高, Cu含量则呈开口向下的 W形状; Zn、Fe、Mn含量均在 6月上旬达到高峰, 而后均呈下降趋势。方差分析表明, 10月幼竹根际土壤与非根际土壤 Cu、Zn、Fe、Mn含量均存在显著差异, 说明根际土壤对微量元素的溶解吸收相比非根际土壤来说, 受根际小环境影响更显著。

**关键词:** 毛竹; 成竹期; 根际土壤; 微量元素

中图分类号: S795.7

文献标识码: A

## A Dynamic Study on Trace Element of Rhizosphere Soil during Bamboo Forming Stage of *Phyllostachys edulis*

ZHANG Wen-yuan<sup>1,2</sup>, FAN Shao-hui<sup>1</sup>, SU Wen-hui<sup>1</sup>, LIU Guang-lu<sup>1</sup>, ZHOU Jin-min<sup>3</sup>

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;  
2. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi, China;  
3. Huangshan Public Forestry Farm in Huangshan City, Anhui Province, Huangshan 242700, Anhui, China)

**Abstract:** The concentration dynamics of trace element, pH, and soil organic matter in rhizosphere soil of young *Phyllostachys edulis* during bamboo forming stage were analyzed in Huangshan Public Forestry Farm. The result indicated that the pH value of the rhizosphere soil of one-year-old *Ph. edulis* was between 4.86 and 6.04, relatively suitable for bamboo's growth. With the growth of young bamboo, the pH value took the form of parabola wholly, and reached the maximum in August, 6.03; the contents of Cu and organic matters reached the peak in June and July respectively, which were 38.77, and 0.67, the content of organic matters reached the minimum at the end of July, then increased slowly; and the contents of Zn, Fe, and Mn reached the peak in June, then presented a downward trend. Variance analysis showed that there were significant differences in the contents of Cu, Zn, Fe, and Mn between rhizosphere soil and non-rhizosphere soil of the one-year-old *Phyllostachys edulis* in October, which showed that the effects of micro-environment of rhizosphere on dissolution and absorption of trace elements was greater for rhizosphere soil than for non-rhizosphere soil.

**Key words:** *Phyllostachys edulis*, bamboo forming stage, rhizosphere soil; trace element

毛竹(*Phyllostachys edulis*(Carr.) H. de Lehaie) 的 70%, 而且具有生长快, 产量高, 用途广的特点。是我国重要的经济竹种, 栽植面积占我国竹林面积 经过几十年的研究积累, 毛竹林经营取得了巨大成

收稿日期: 2009-05-18

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD24B0701)、(2008BADA9B0802); 国家林业局推广项目([2007]117号)

作者简介: 张文元(1977—), 男, 安徽六安人, 讲师, 博士, 主要从事森林培育理论和技术、竹林培育方面的研究. E-mail: zwy15@126.com

\* 通讯作者. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

绩,毛竹的经济价值得到了极大提升,但也出现了过度采笋伐竹等因素导致的竹林生产力下降,加强毛竹林营养管理是毛竹林生产力得以保持的重要手段,尤其是毛竹根际土壤的研究可以为精确管理毛竹营养提供依据<sup>[1]</sup>。

毛竹林的地上立竹与地下竹鞭是一个鞭-竹系统,由不同年龄的若干株立竹及与之相连的相互连通的若干个鞭段所组成,同时进行内部、内部与外界物质和能量的交换<sup>[2-5]</sup>。这个系统极其复杂<sup>[6]</sup>。因此,毛竹林土壤研究范围与林木不同,不容易做到植株与土壤的一一对应,对毛竹林土壤研究主要以大范围尺度为主,集中在不同毛竹林或毛竹不同混交类型土壤水分物理性质<sup>[7-8]</sup>、化学性质<sup>[9-10]</sup>的研究等方面,对毛竹根际土壤微生物学的研究也有少量报道<sup>[11-12]</sup>。土壤中的Cu、Zn、Fe、Mn是植物正常生长发育必需的微量元素,它们是组成酶、维生素和生长激素的成分,直接参与有机体的代谢过程,对植物的生长发育有重要意义。在生产上,毛竹第一年的生长期,主要分为春笋期和幼竹生长期,这两个时期统称为毛竹成竹期,自笋期结束后即进入幼竹生长期,毛竹笋期短,一般为4月到5月,幼竹形成后,秆型生长结束,主秆的高度、粗度和体积不再发生明显的变化,但是物质积累仍在进行<sup>[6]</sup>,期间毛竹生长迅速,养分消耗大,体内酶、生长激素种类和含量变化剧烈,生理活动旺盛,而对生长发育有重要作用的Cu、Zn、Fe、Mn等微量元素在毛竹笋体内含量动态变化规律尚未有系统研究,因而本研究以安徽省黄山公益林场毛竹林为研究对象,研究了毛竹成竹期中幼竹生长期的根际土壤微量元素的动态变化规律,以期对毛竹成竹期的施肥提供理论依据。

## 1 研究区概况

黄山公益林场地处安徽省黄山市,位于安徽省南部山区,海拔均高450~550 m,气候属亚热带湿润性气候,气温温和,雨量充沛,季节分明,年平均气温15.3℃,最高月平均气温27.8℃,最低月平均气

温3℃,极端最高气温40.3℃,极端最低气温-13.5℃,年降水量1376~1649 mm,以春夏多,秋冬少,年蒸发量约1120 mm,干旱指数0.4~1.2之间,相对湿度在80%以上,无霜期220天,年日照2281~2453 h,占可照时数40%。成土母岩多为千枚岩,部分为花岗岩,另有少量石灰岩,土壤自下而上主要分布黄红壤、山地黄壤、山地黄棕壤。

安徽省黄山市黄山公益林场有毛竹林40 km<sup>2</sup>,实验林大小年分明,2007年无笋出土,经营措施为2007年7月进行劈灌、除草作业,立竹密度为2348株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为8.8 cm。试验地为酸性土壤,有机质含量为35.30 g·kg<sup>-1</sup>,碱解N为89.55 mg·kg<sup>-1</sup>,有效P为3.61 mg·kg<sup>-1</sup>,速效K为175.62 mg·kg<sup>-1</sup>。

植被基本为毛竹纯林,夹杂有苦槠(*Castanopsis sclerophylla* (Lindl. et Paxton) Schottky)、豹皮樟(*Litsea coreana* Lévl. var. *sirensis* (Allen) Yang et P. H. Huang)、乌药(*Lindera aggregata* (Sims) Kosterm.)、枫香(*Liquidambar formosa* Harce)、枫杨(*Pterocarya stenoptera* C. DC.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

以安徽省黄山市黄山公益林场地理条件一致,坡向一致(25°左右),海拔500 m左右,坡向西北,林分年龄结构与研究区基本一致的地块,设置3个30 m×50 m的样地,以2008年当年生毛竹为实验对象,2008年6月3日为取样起始日期,结合其生长速度确定幼竹根际土壤的取样时间间隔(具体取样时间见表1),取样时间为上午10时,在每个样地内随机选取1株相同生长时间(自2008年6月1日每天将样地内新出土的笋进行挂牌)幼竹,连蔸挖取,采取抖落法沿竹蔸取连在根上粒径小于1 cm土壤作为毛竹幼竹生长期根际土壤样品,重复3次,将3份土样混合后,以四分法称取500 g作为幼竹根际土壤样品,带回实验室,

表1 毛竹成竹期根际土壤取样时间

取样时间	06-03	06-10	06-17	06-20	06-30	07-08	07-24	07-31	08-11	08-22	09-07	09-23	10-01
取样次第	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	第11次	第12次	第13次

风干,研磨后,过60目筛,装入瓶中标记待测。2008年10月1日在取根际土壤同时,在每个样地内沿S形选取5个点取毛竹林间土壤,并采用四分法混合,

取500 g作为一个非根际土壤样,带回实验室,风干,研磨后,过60目筛,装入瓶中标记待测。

## 2.2 样品测试

土壤样品 pH 值测定采用电位法; 有机质测定采用消煮炉加热  $K_2Cr_2O_7$  容量法; 土壤样品中 Cu、Zn、Fe、Mn 含量测定采用原子吸收法。(参照《森林土壤分析方法》(LY/T 1210 鹵 1275-1999))

用 Excel 2007 和 SPSS17 软件对实验数据进行处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 毛竹成竹期根际土壤 pH 值变化规律

土壤酸碱性可影响土壤中的化学反应, 毛竹根际土壤 pH 值过低或过高, 会直接影响矿质元素的溶解度, 使某些营养元素变为不可吸收的状态, 常使土壤元素含量发生变化, 影响营养元素的有效性, 引起幼竹发生营养缺素症, 从而导致幼竹某些元素的失调<sup>[13-15]</sup>。一般认为, 毛竹较适宜生长的 pH 值范围为 4.5 鹵 6.0<sup>[16]</sup>, 图 1 表明, 幼竹根际土壤 pH 值 4.86 鹵 6.04, 平均值 5.23, 表明毛竹林幼竹根际土壤 pH 值较适合竹生长。幼竹根际土壤 pH 值的变化趋势为开口向下的抛物线型, 8 月中旬到达最高峰, 为 6.03, 随后逐步降低, 这可能与毛竹生长特性有关, 幼竹生长前期, 由于根系没有发育完全, 大部分营养元素由鞭根系统供给, 因而对幼竹根际的金属阳离子吸收量较小, 随着幼竹根系的发育, 对根际金属阳离子吸收量逐渐增大, 同时根系分泌物增加, 尤其是各种有机酸分泌增多, 因而 pH 值先升高达到一个高峰后, 逐步降低。

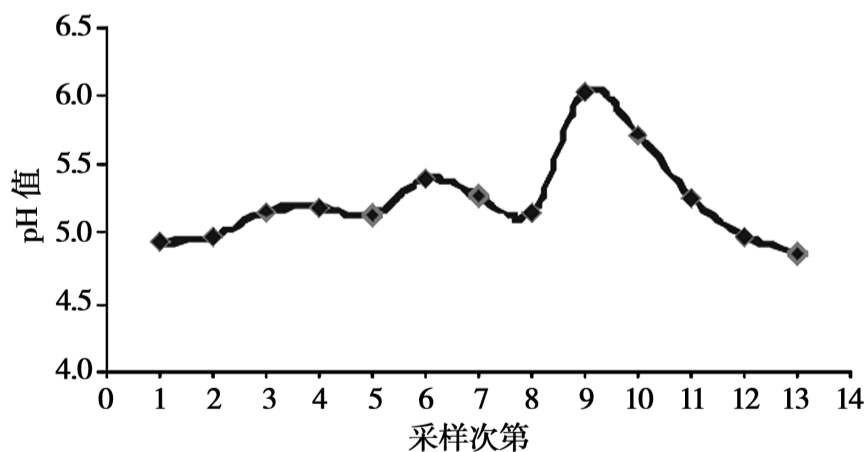


图 1 毛竹成竹期根际土壤 pH 值变化

注: 采样次第 1 鹵 13 所代表时间见表 1, 下同。

### 3.2 毛竹成竹期根际土壤有机质变化规律

土壤有机质是土壤固相的一个重要组成部分, 是土壤肥力的物质基础, 也是植物的重要营养来源, 土壤有机质中无机胶体和有机胶体对金属离子有吸附和络合作用, 从而影响土壤中金属离子的含量。图 2 表明, 幼竹根际土壤有机质 6 月上中旬变化较

为平缓, 6 月下旬逐渐升高, 7 月中下旬有机质含量逐渐降低, 至 8 月中旬最低, 而后慢慢升高。这可能是因为 6 月上中旬幼竹根系开始生长, 发育不完全, 根际土壤的微生物较少, 对有机质分解较少, 同时前期有大量腐殖质, 因而有机质含量变化较平缓。7 月中下旬随根系生长, 气温逐渐升高, 根际土壤中微生物数量增多, 活动旺盛, 土壤有机质分解速率加快, 有机质含量逐渐降低。这段时间是毛竹林新竹生长和地下鞭养分大量积累的时期, 有机质大量分解所产生的各种营养元素满足毛竹的快速生长, 因而, 这个时期有机质分解对毛竹生长是有利的。自 8 月中旬后有机质含量逐渐升高, 而后趋于平缓, 可能是因为这段时间随着毛竹落叶的增多, 凋落物有所增加。

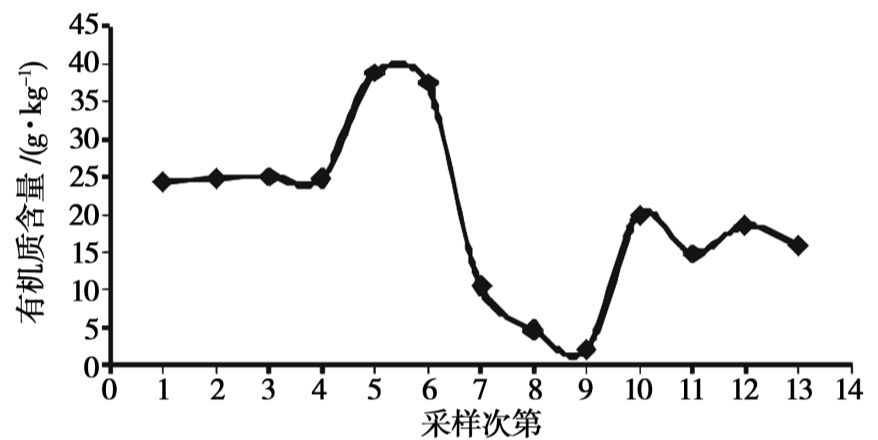


图 2 毛竹成竹期根际土壤有机质含量变化

### 3.3 毛竹成竹期根际土壤微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn 变化规律

#### 3.3.1 毛竹成竹期根际土壤 Cu 含量变化规律

Cu 是多种氧化酶的组成成分, 同时是质体蓝素和叶绿素的组成成分, 对植物的生长有着非常重要的作用, 而幼竹根际土壤中铜含量变化影响幼竹对铜的吸收, 因此根际土壤铜含量动态变化研究显得十分重要。图 3 表明, 幼竹根际土壤 Cu 含量较低, 在  $0.14$  鹵  $0.63 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  之间, 自 6 月上旬开始逐步升高, 至 6 月中旬达到高峰, 随后逐渐下降, 8 月上旬后又缓慢上升, 而后降低。6 月至 8 月幼竹根际土壤 pH 值逐渐升高, 促使土壤含铜化合物  $\text{CuCO}_3$ 、 $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  和  $\text{CuO}$  等溶解度减小; 同时自 6 月中旬以后, 气温逐渐升高, 根际土壤中微生物数量增多, 活动旺盛, 土壤有机质经分解, 形成大量有机物和胶体, 对 Cu 产生了很大的固定作用<sup>[17]</sup>, 因此 6 月上旬至 7 月末幼竹根际土壤 Cu 含量降低, 8 月上旬根际土壤中 Cu 含量升高。

3.3.2 毛竹成竹期根际土壤 Zn 含量变化规律 Zn 是植物生物合成吡啶乙酸和碳酸酐酶的组成成分, 同时也是某些酶的活化剂, 在植物体内具有重要的作

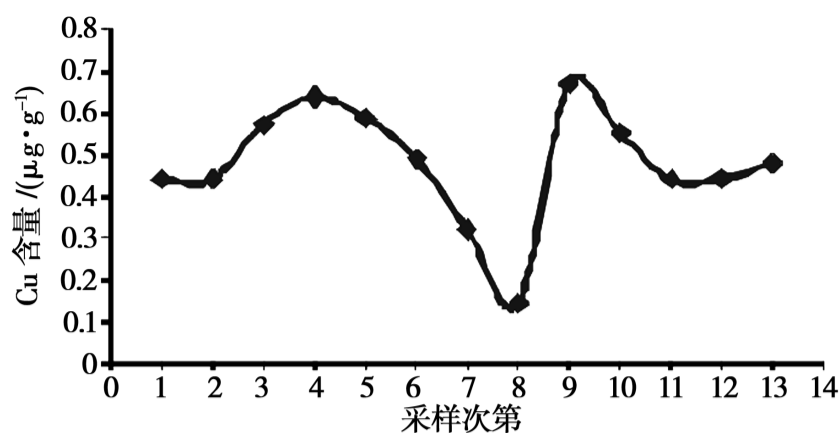


图3 毛竹成竹期根际土壤 Cu 含量变化

用,幼竹根际土壤中 Zn 含量影响着幼竹对 Zn 的吸收。在幼竹成竹时期(图4),幼竹根际土壤中 Zn 含量在6月上旬急剧升高,到达高峰值  $3.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  后,随之降低,8月上旬后又逐渐升高。与 Cu 含量相比, Zn 含量更高,有研究表明,小分子有机物与土壤中 Zn 形成的络合物的稳定性要大于 Cu,因而在土壤溶液中 Zn 浓度较高<sup>[17]</sup>。Zn 在土壤中的有效性与多种因素有关,如土壤通气状况、微生物活性、易分解有机质含量、pH 值、植物根系代谢活动等,其中 pH 值和有机质对土壤 Zn 含量变化的影响比较重要。微生物生长所需的最适氢离子浓度一般是很低的。在较高浓度时,氢离子对微生物有毒性或致死效应<sup>[18]</sup>。幼竹随着根际土壤 pH 值变化,微生物活动也随之变化,从而增加或减少有机质的分解,产生的胡敏酸、富里酸与 Zn 离子产生络合反应相应变化,从而影响 Zn 离子在土壤中有效性。本实验土壤 Zn 含量变化可能是根际土壤有机质、pH 值及其他因素综合作用的体现。

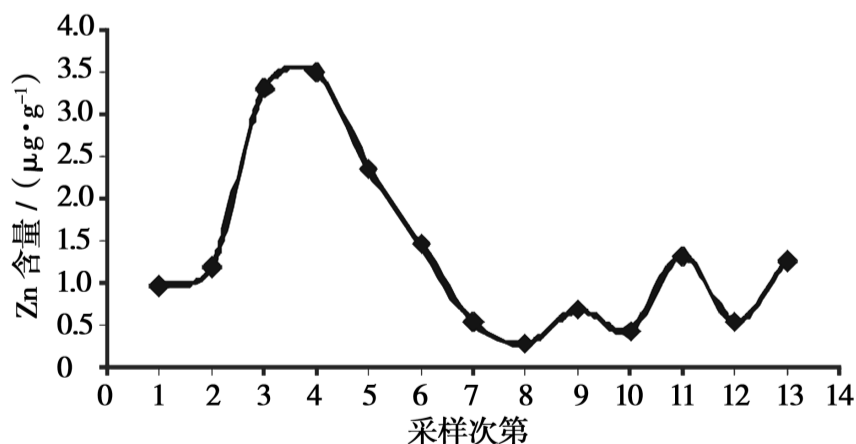


图4 毛竹成竹期根际土壤 Zn 含量变化

**3.3.3 毛竹成竹期根际土壤 Fe 含量变化规律** Fe 是植物体多种酶的重要组成成分,同时参与叶绿素合成,因此对植物的生长起着至关重要的作用,土壤中 Fe 形态多样,只有交换态和溶液中 Fe 是有效态,幼竹根际土壤中 Fe 含量的动态变化对幼竹 Fe 吸收有着重要作用。图5表明,幼竹根际土壤 Fe 含量自6月上旬逐渐升高,到达高峰值  $55.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  后,而后

降低,8月上旬后变化趋于平缓。有研究表明,土壤 pH 值升高 1 个单位,土壤中  $\text{Fe}^{3+}$  浓度降低 1 000 倍<sup>[17]</sup>,而有  $\text{Fe}^{2+}$  存在时发生氧化还原反应,可以显著提高  $\text{Fe}^{3+}$  浓度,同时受有机质分解作用影响,有机物和胶体含量增加,加大了其对 Fe 的吸附和络合作用,对 Fe 固定作用也随之增加。本实验中,可能因为氧化还原反应比较弱,在土壤 pH 值和有机质含量的影响下,铁离子浓度达到高峰值后,逐渐下降。

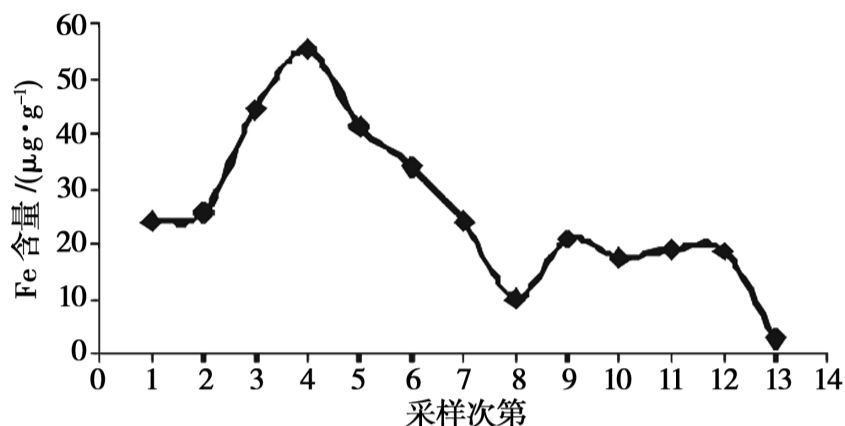


图5 毛竹成竹期根际土壤 Fe 含量变化

**3.3.4 毛竹成竹期根际土壤 Mn 含量变化规律** Mn 在植物体内有着重要的生理作用,由于其与 Fe 一样有化合价的变化,因而有与 Fe 相似的营养作用,参与植物的光合作用,促进硝酸还原,影响氮的转化和蛋白质的合成。另外它是呼吸作用多种酶的活化剂,影响植物的呼吸作用,土壤中有效态 Mn 含量影响幼竹对 Mn 的吸收。成竹期 Mn 含量(图6)自6月上旬逐渐升高,到达高峰值  $106.95 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  之后降低。这可能与土壤 pH 值、氧化还原电位有关, pH 值降低,铁锰氧化物因部分还原成低价离子而溶解,使铁锰氧化物结合态铜减少;  $\text{H}^+$  增多,加大碳酸盐物质溶解,使碳酸盐结合态锰得以释放,从而使有效态锰增加<sup>[17]</sup>。从整个幼竹生长期的 pH 值变化来看, pH 值变化情况与根际土壤的锰元素的含量变化情况并不同步,这可能是由于实验地的土壤水分充足,在此条件下,微生物的活动以及土壤的低氧条件引起高价锰的还原,使锰的有效性升高,后期由

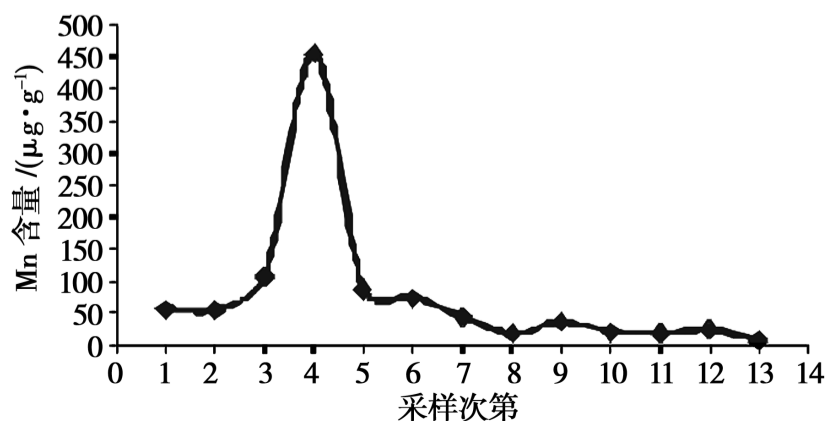


图6 毛竹成竹期根际土壤 Mn 含量变化

于微生物活动减弱,使锰的有效性逐渐减弱。

### 3.4 毛竹成竹期根际土壤与非根际土壤微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn 比较

毛竹自 4 月出笋,经过大约 1 个月笋期生长后,即进入高生长,幼竹根系也随之生长<sup>[6]</sup>,10 月后,由于气候逐步转凉,幼竹生长减弱,根系生活力降低。此时是幼竹生长转折点,因此选取 10 月毛竹根际土壤与非根际土壤,测其微量元素含量,结果如表 2,根际土壤 Cu、Zn、Fe、Mn 含量分别是非根际土壤的 1.36、2.23、0.16、2.14 倍,除 Fe 含量以外,Cu、Zn、Mn 含量均比非根际土壤要高,而根际土壤 pH 值要低于非根际土壤,这说明根际土壤微量元素的消耗

表 2 毛竹成竹期根际土壤微量元素含量与非根际土壤微量元素含量比较

项目	Cu/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Zn/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Fe/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Mn/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	pH 值
根际土壤	0.48 ±0.02	1.26 ±0.01	2.82 ±0.07	7.20 ±0.20	4.86 ±0.01
非根际土壤	0.35 ±0.02	0.57 ±0.08	17.14 ±1.48	3.36 ±0.39	4.93 ±0.02
F 值	29.79**	92.68*	73.47**	73.47**	

注:\* 为  $p < 0.05$ ; \*\* 为  $p < 0.01$ ;表中数据为 3 个重复样品的平均数。

### 3.5 毛竹成竹期根际土壤 pH 值、有机质和土壤微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn 相关性分析

幼竹根际是个复杂的微生态环境,微生物的种类与活动、有机质的含量与种类、大量元素与微量元素的含量变化以及根际土壤物理性质的变化等相互影响,进而影响毛竹的生理活动。本实验将微量元素、pH 值和有机质几种因素进行了相关性分析(表 3),结果表明,15 对因素中,5 对因素达到显著或极显著相关性,Zn 与 Fe、Zn 与 Mn、Fe 与 Mn 达到极显著相关性。土壤 pH 值与土壤微量元素含量相关性未达到显著性水平,说明在酸性土壤中 pH 值对 Cu、Zn、Fe、Mn 含量影响较小。有研究表明,土壤 pH 值和有机质含量与土壤微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn 的溶解度有关<sup>[17]</sup>,本文中根际土壤微量元素是有效态的含量,虽然土壤 pH 值影响土壤微量元素的溶解度,但是实验中所测得的微量元素的有效性含量是多种因素的综合作用,如试验地为酸性土壤,土壤水分渗透对根际

表 3 毛竹根际土壤微量元素、pH 值与有机质相关系数

项目	Cu	Zn	Fe	Mn	pH 值	有机质含量
Cu	1.000					
Zn	0.558*	1.000				
Fe	0.535	0.844**	1.000			
Mn	0.423	0.747**	0.782**	1.000		
pH 值	0.400	-0.195	0.026	-0.055	1.000	
有机质	0.366	0.550	0.606*	0.296	-0.316	1.000

注:\* 为  $p < 0.05$ ; \*\* 为  $p < 0.01$ 。

主要由根系对微量元素吸收速度、土壤养分状况以及运输到根表的量来决定。当土壤养分含量较低,通过质流或扩散到达根表的养分不能补充根系的吸收,就会出现耗竭。而根际土壤 pH 值低于非根际土壤,说明根际土壤明显酸化,当幼竹根系吸收阳离子超过阴离子时,为维持体内电荷平衡,根系向外分泌质子( $\text{H}^+$ ),造成根际酸化。从表 2 中可以看出,毛竹成竹期各微量元素含量根际土壤与非根际土壤均存在显著差异,其中 Cu、Fe、Mn 含量差异达到极显著水平,说明对微量元素的溶解吸收,根际土壤比非根际土壤受根际小环境影响更显著。

土壤微量元素的累积影响等,因此土壤 pH 值与土壤微量元素含量相关性未达到显著性水平。各微量元素间相关性说明元素间离子状态对其溶解有很大关系。

## 4 结论与讨论

(1) 土壤中微量元素的不同形态可以相互转化,其有效性是受多种因素影响,如土壤 pH 值、温度、水分、有机质、离子间相互作用等。幼竹根际土壤中微量元素含量对植物吸收微量元素有着重要的作用。本实验结果表明,Zn、Mn 和 Fe 随生长在 6 月上旬达到一个高峰后,随之缓慢下降。Cu 自 6 月上旬开始逐步升高,至 6 月中旬达到高峰,随后逐步下降,自 8 月上旬又开始升高,而后缓慢降低。随幼竹生长,pH 值呈开口向下的抛物线形状,8 月中旬达到最高值,为 6.03。有机质含量在 7 月初达到最低点,而后慢慢升高。10 月幼竹根际土壤与非根际土壤各微量元素、pH 值及有机质含量分析表明,根际土壤的微环境对微量元素的溶解吸收有很大影响。

研究表明毛竹笋期根际土壤有机质、Cu、Zn、Fe、Mn 含量最低点为 8 月中旬,而含量最高点为 6 月中下旬,说明毛竹在其幼竹成竹期内对养分需求是有变化的,这就要求在生产实际中施肥时间要针对毛竹生长规律进行,从本文研究结果来看,毛竹最佳施肥时间为 8 月。

(2) 土壤 pH 值和有机质对各个微量元素的含量变化起着重要作用。土壤在酸性状况下, 微量元素溶解度均有所增加, 随着土壤 pH 值的增加, 微量元素的溶解度逐渐降低, 但降低幅度不同。由于土壤是一个复杂的功能体系, pH 值对土壤有效态养分含量的影响常因土壤条件的不同而不尽一致<sup>[17]</sup>。微生物活动增强, 有机质分解加快, 产生大量可溶性低分子有机物对 Fe、Mn 等微量元素具有很强的络合力<sup>[17]</sup>, 促进了微量元素的生物和化学还原作用, 从而调节微量元素的含量变化。土壤微量元素有效性与微量元素的溶解度与土壤有机质或胶体对其的吸附或络合、土壤重碳酸盐含量、土壤水分含量、通气性、氧化还原电位等有关, 本实验所得根际土壤微量元素是有效态的含量, 是多种因素综合作用的结果。

#### 参考文献:

- [1] 吴家森, 胡睦荫, 蔡庭付, 等. 毛竹生长与土壤环境[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(2): 3 - 6
- [2] 何奇江, 张培新. 不同经营类型毛竹笋用林的地下鞭根系统调查研究[J]. 浙江林业科技, 2000, 20(2): 31 - 34
- [3] 汪奎宏, 张培新. 毛竹笋用丰产林地地下鞭根系统调查分析[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(1): 38 - 43
- [4] 张幼法, 林世奎. 毛竹林地下鞭动态生长的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(3): 62 - 65
- [5] 周本智, 傅懋毅. 竹林地下鞭根系统研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(4): 533 - 540
- [6] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002
- [7] 高志勤, 傅懋毅. 不同毛竹林土壤水分物理性质的特征比较[J]. 林业科技开发, 2005, 19(6): 12 - 15
- [8] 何东进, 洪伟. 毛竹杉木混交林土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(3): 215 - 221
- [9] 楼一平, 吴良如. 毛竹纯林长期经营对林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学研究, 1997, 10(2): 125 - 129
- [10] 郑郁善, 陈礼光, 洪伟. 毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1): 16 - 25
- [11] 徐秋芳, 姜培坤. 毛竹竹根区土壤微生物数量与酶活性研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(6): 648 - 652
- [12] 徐秋芳, 钱新标. 毛竹根际土壤的化学性质[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(3): 240 - 243
- [13] 庄伊美, 叶水兴. 红壤柑桔园硼铜镁营养失调的诊断[J]. 中国柑桔, 1991, 20(3): 6 - 8
- [14] 俞立选, 应先东, 徐婵娟. 滨海柑桔失绿黄化病研究[J]. 中国柑桔, 1982(1): 13 - 15
- [15] Sims J T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc soil science[J]. Society of America Journal, 1986, 50(2): 367
- [16] 徐秋芳, 徐建明. 安吉县港口乡低产毛竹林地肥力分析[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 280 - 284
- [17] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983
- [18] A H 罗斯, 赵玉莲. 环境对微生物活性的影响(中)[J]. 上海调味品, 1988(4): 21 - 24