

## 集约经营雷竹林对土壤水溶性盐基组分含量的影响

吕培<sup>1</sup>, 李子川<sup>1</sup>, 庄舜尧<sup>2</sup>, 桂仁意<sup>1\*</sup>

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300,

2. 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 2016年6月, 以水稻田和红豆杉幼林地作为对照, 在浙江省临安市选取2、6、8、11、16、20 a集约经营雷竹林 (*Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*) 提取0~10 cm、>10~20 cm和>20~40 cm层土样, 测定各层钠、钙、镁、钾4种水溶性盐基离子浓度。结果表明, 随着竹林覆盖经营时间的延长, 土壤水溶性钾随着土层深度的增加而下降, 水溶性钠和钙随土壤深度的增加而上升, 水溶性镁在各土层的分布变化不大; 对比水稻田土壤和红豆杉幼林地土壤, 雷竹林表层土壤(0~10 cm)中水溶性钾、钙、钠和镁含量随着集约栽培时间增加, 土壤水溶性盐基组分含量呈单峰型变化, 其含量与雷竹的集约栽培措施密切相关。

**关键词:** 雷竹; 集约经营; 土壤; 水溶性盐

中图分类号: S714.2; S795.9

文献标识码: A

## Influence of Intensive Management on Content of Soil Water Soluble Base in Different Aged *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* Stand

LU Pei<sup>1</sup>, LI Zi-chuan<sup>1</sup>, ZHUANG Shun-yao<sup>2</sup>, GUI Ren-yi<sup>1</sup>

(1. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China;

2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Soil sampling was conducted at 0-10cm, >10-20cm, >20-40cm layer in 2-, 6-, 8-, 11-, 16-, 20-year mulching *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* stand in Lin'an, Zhejiang province in June 2010, taking paddy field and young *Taxus chinensis* var. *mairei* stand as the control. Determinations on water soluble Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> content at different layers and different aged stand demonstrated that water soluble K<sup>+</sup> content decreased with the depth of soil layer, Na<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> content was the opposite, and Mg<sup>2+</sup> content had no evident change among different layers along with years of mulching. Compared with the control, water soluble K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> content at 0-10 cm layer of different aged stands had unimodal distribution, indicating that soil water soluble base content had close relation intensity of management.

**Key words:** *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*; intensive management; soil; water soluble base

雷竹 (*Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*) 为禾本科竹亚科刚竹属竹种, 是优良的单轴散生型笋用竹种, 广泛分布在我国长江以南地区, 浙江省分布面积最大。主产地浙江临安、安吉、德清等县(市)<sup>[1]</sup>。因其笋味鲜美、笋期早、持续时间长等优点<sup>[2]</sup>, 深受人们的喜爱。雷竹笋有极高的经济价值和营养价值, 在雷竹笋经营中, 为了实现其早产高产, 浙江省雷竹主要栽培区普遍采用有机材料覆盖促使竹笋早出, 并进行规模化栽培,

收稿日期: 2015-12-19; 修回日期: 2016-02-22

基金项目: 浙江省重中之重林学一级学科开放基金(KF201303)

作者简介: 吕培(1990-), 男, 浙江绍兴人, 在读硕士研究生, 从事竹林培育与利用的研究; \*通讯作者。

使雷竹笋在春节前后价格较高时就可出售, 竹笋产量和经济效益得到显著提高<sup>[1,3]</sup>。但随着有机材料覆盖的年份增加, 雷竹林出现了不同程度的退化现象<sup>[4~5]</sup>, 主要表现为林地土壤物理、化学和生物性劣变、酸化、养分失衡、土壤发生机械结构差、持水性能下降、有毒化学物积累等<sup>[6]</sup>。2014 年, 临安市雷竹种植面积达到 2 000 hm<sup>2</sup>, 产值 8.8 亿元, 覆盖竹笋产值一般在 30 万元/hm<sup>2</sup>以上, 最高可达 75 万元/hm<sup>2</sup>以上, 可使经济效益提高 10 倍。极大的增加了竹农的收入, 栽植雷竹便成为广大竹区农民提高经济收入的重要手段。近几年来, 江西、福建、安徽、江苏、湖北、四川等地, 都积极引种雷竹, 建立笋用林基地。然而, 雷竹林地的衰败已经严重影响到竹农经济收入的稳定性和区域竹笋产业发展的可持续性。

目前已有的研究多集中在土壤养分、盐分积累、土壤酶活性等方面, 而雷竹林集约栽培对土壤水溶性盐基离子组分演变特征的影响还鲜见报道。钠、镁、钾、钙是土壤的主要盐基元素, 对雷竹林地土壤的养分状况与酸碱性质有着深远影响。 $\text{Na}^+$ 是造成植物盐害及产生盐渍逆境的主要离子<sup>[7]</sup>。钾是土壤中含最高的大量营养元素<sup>[8]</sup>, 土壤中水溶性钾占全钾的比值通常比较小, 但钾在土壤中处于动态变化状态, 淋溶作用或植物的吸收使土壤失去钾, 施肥使得土壤中的钾得到补充和增加, 导致不同形态钾在土壤中相互转化<sup>[9]</sup>。钙元素是植物生长必需的元素, 它对植物生长发育和新陈代谢所起的作用是其它元素所不能替代的; 钙能增强植物的抗盐能力<sup>[10]</sup>, 它在土壤中的变化影响着土壤的物理化学性质, 同时影响着植物对它自身及其它养分的吸收; 钙还可消除土壤中的有害因素, 例如, 解除土壤铝、锰毒<sup>[11]</sup>。镁元素是叶绿素的重要组成成分, 植物缺少镁元素时会患缺绿症; 镁素还可以促进植物对土壤中磷的吸收; 砷对于动物和大多数植物而言是一种有毒元素, 而镁盐在较小程度上可用于促进土壤中砷的固定, 使之沉积, 成为土壤废弃物<sup>[12]</sup>。

本文通过分析不同栽培年限下雷竹林土壤几种水溶性盐基组分含量随土壤深度的变化, 以探讨高量施肥及经营年限增长对林地土壤水溶性盐基组分的影响, 为雷竹土壤健康与可持续利用, 促进雷竹林生产高效发展提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及自然概况

土壤采样地点位于浙江省临安市太湖源镇。该地区属于中纬度北亚热带季风型气候, 低山丘陵地貌。年均降水量 1 460 mm, 年均气温 15.8℃。土壤为发育于粉砂岩母质的黄红壤水稻土。

### 1.2 样地设置与样品采集

选择经营年限分别为 2、6、8、11、16、20 a 的雷竹林地, 以水稻田和红豆杉林地作为对照, 其中种植 2 a 的雷竹林为新成林, 种植 6 a 的开始覆盖, 种植 16 a 的样地雷竹林已经退化, 种植 20 a 的雷竹林自其退化后处于休耕状态。于 2010 年 6 月上旬采集土壤样品, 取样的深度分别为上层土壤 (0~10 cm)、亚表层土壤 (>10~20 cm) 和底层土壤 (>20~40 cm), 每个种植年限 3 次重复。每个重复按照随机布点选取 4 个点, 每点每层取样约 300 g, 采集 4 个点同一土层的样品混合为一个土样。

### 1.3 分析方法

1.3.1 土样处理 采集回来的土壤样品经除杂、风干后, 研磨过 60 目筛用于土壤水溶性盐基离子性质的测定。

1.3.2 测定方法 土壤水溶性盐基离子的测定方法如下: 称取过 60 目筛风干土壤样品 2 g 于 50 mL 离心管中, 加入 Mill-Q 超纯水 10 mL 使得土液比为 1:5, 离心管放入振荡仪振荡提取 24 h, 之后放入离心机中 5 000 r/min 离心 20 min, 过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜<sup>[13~14]</sup>。电导率仪测定土壤电导率, 原子吸收光谱法测定土壤水溶性钠、钙、镁元素; 滤液稀释 10 倍后用于土壤水溶性钾素测定<sup>[15]</sup>。所有测定重复 3 次, 取平均值。

### 1.4 数据分析

用 SAS V8 软件对数据进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植年限雷竹林土壤水溶态钾含量的变化

由图 1 可以看出, 随着雷竹林栽培时间的延长, 土壤表层 (0~10 cm) 和亚表层 (>10~20 cm) 水溶态钾含量前期呈逐渐上升趋势, 在雷竹林经营约 8 a 时达到最高 (>200 mg/kg), 而后随竹林栽培时间的延长持续下降, 第 11 年开始呈显著下降趋势。而下层土壤较表层和亚表层土壤水溶态钾含量在竹林经营前期上升缓慢, 但在栽培约 8 a 后, 随竹林栽培时间的延长也呈下降趋势, 但其随栽培时间的增加而下降的幅度较表层和亚表层土壤要小。从图 1 中可看出, 在退化雷竹林 (Pv16、Pv20) 土壤中, 下层土壤水溶态钾含量略高于表层和亚表层土壤, 表明随着雷竹林集约经营时间的增加, 深层土壤养分积累比例加大, 长年施肥灌水加速养分向深层淋洗积累。

### 2.2 不同种植年限雷竹林土壤水溶态钙含量的变化

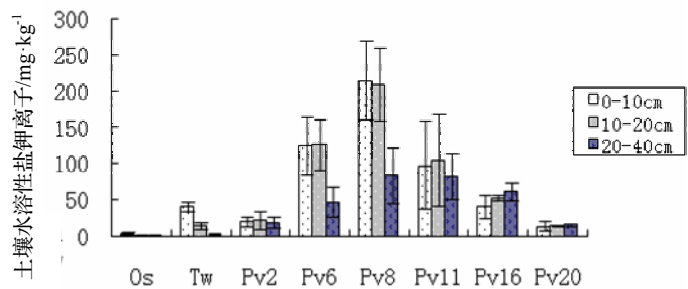
从图 2 中可以看出, 随着雷竹林集约栽培时间的延长, 不同土壤深度水溶态钙含量在竹林经营前期都呈逐渐上升趋势, 在竹林经营约 8 a 后开始呈持续下降趋势, 11 a 后呈显著下降。总体而言, 与对照 (水稻田和红豆杉幼林地) 相比, 土壤水溶态钙含量在所有雷竹林地都是随土壤深度的增加呈逐渐上升的趋势。这表明上层土壤水溶态钙易于随地表水迁移发生淋失或随土壤水向下层土壤迁移, 导致上层土壤水溶态钙的含量低于其下层土壤。

### 2.3 不同种植年限雷竹林土壤水溶态钠含量的变化

从图 3 可以看出, 雷竹林土壤水溶态钠含量在对照和退化雷竹林中随土壤深度的增加没有显著变化, 在其它林地随着土壤深度增加而逐渐上升。雷竹林种植初期随着经营年限的增加, 土壤水溶态钠含量在竹林经营前期呈逐渐上升的趋势, 在集约栽培 8 a 时达到最高, 分别由栽培前期的约 10 mg/kg 上升到 40 mg/kg, 然后持续下降, 在退化林地 (Pv20) 下降到约 5 mg/kg。

### 2.4 不同种植年限雷竹林土壤水溶态镁含量的变化

从图 4 可以看出, 随着雷竹林集约栽培时间的延长, 土壤水溶态镁含量都表现为在竹林经营前期呈逐渐上



Os: 水稻田; Tw: 红豆杉幼林地; Pvi: 不同栽培时间雷竹林地。下同。

图 1 不同深度土壤水溶性钾离子含量随雷竹种植时间的变化

Figure 1 Content of water solubility  $K^+$  at different soil layer of different aged *Ph. praecox* cv. *prevernalidis* stands

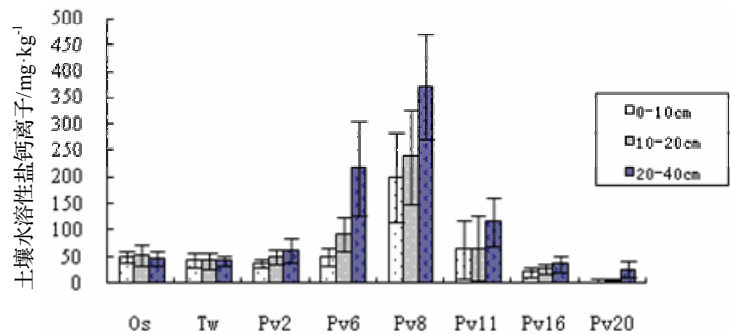


图 2 不同深度土壤水溶态钙含量随雷竹种植时间的变化

Figure 2 Content of water soluble  $Ca^{2+}$  at different soil layer of different aged *Ph. praecox* cv. *prevernalidis* stands

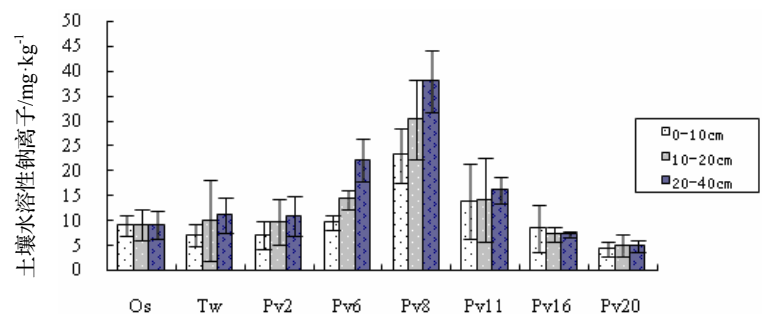


图 3 不同深度土壤水溶态钠含量随雷竹种植时间的变化

Figure 3 Content of water soluble  $Na^+$  at different soil layer of different aged *Ph. praecox* cv. *prevernalidis* stands

升趋势, 在雷竹林经营种植约 8 a 后开始呈持续下降的趋势。在不同土壤深度中, 水溶态镁含量差异并不显著。

### 3 讨论

李子川等人对集约经营雷竹林研究发现, 随着雷竹林经营年限的延长, 土壤 pH 值呈逐渐下降的趋势<sup>[16-21]</sup>, 土壤有机质质量分数<sup>[22]</sup>和土壤阳离子交换量 (CEC) 在雷竹林实施覆盖栽培后开始持续上升, 土壤电导率随雷竹林经营强度的变化呈单峰变化<sup>[21]</sup>。

土壤水溶性钾含量的变化与土壤电导率的变化区间基本吻合, 表层和亚表层土壤中的含量高于下层土壤, 说明土壤水溶性钾中非常大的一部分是与施肥活动和竹林的经营强度有关的。在 Pv8, 林地土壤水溶性钾的含量超过 200 mg/kg, 这表明来自肥料的钾量已超过雷竹生长所需, 导致土壤速效钾过量累积; 而在退化林地 Pv20, 土壤水溶性钾下降到了非常低的水平, 在雷竹吸收变弱情形下, 降雨使土壤中钾素大量淋失。

土壤水溶性钙、钠、镁含量随竹林栽培时间的增加逐渐上升, 在 Pv8 林地达到最高后开始显著下降。雷竹林地中的钙、钠、镁很少是由于施肥带入, 是土壤自身矿物质重要的组成成分。在土壤酸化过程中, 矿物加速溶解, 释放出盐基离子, 土壤中各种盐基离子的含量变化是土壤矿物风化、降水淋失及雷竹吸收共同作用所致。

由水稻田改种雷竹 5 a 成林后开始用有机物覆盖, 覆盖栽培技术模式为: 采用有机物覆盖以提高地温, 使地温一般保持在 10℃ 以上, 以促进春笋冬出, 同时配之以合理的水肥供应条件, 保持合理的竹林结构<sup>[1]</sup>, 地温增幅可达 4~5℃。在调查竹林地中没有及时将仍未分解的有机物清除出林地的占 41.4%<sup>[23]</sup>。很多竹农片面认为, 长时间覆盖可以让竹林有更多时间的出笋来增加竹林经营的经济收入。其实不然。如果覆盖物清除不及时, 长期的覆盖于竹林土壤表面, 使雷竹林土壤一直处于非常规状态, 地下鞭向上生长, 严重的甚至会造成竹鞭裸露于土壤外。调查地雷竹林每年施 3 次肥, 5 月中旬第一次施肥, 施肥量为 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥, 9 月中旬第二次施肥, 施 825 kg/hm<sup>2</sup> 发鞭肥 (N:P:K=5:3:2), 第三次是在覆盖前施 825 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥, 施肥时间为 11 月中旬至 12 月初, 施肥量为无机复合肥 (N:P:K=16:16:16) 2.25 t/hm<sup>2</sup> 和尿素 (含 N 46%) 1.125 t/hm<sup>2</sup>。竹农在竹林栽培初期施用大量化肥, 以增加雷竹林地单位面积的产出, 但这种高强度的集约经营导致竹林地力衰退, 竹林笋产量大幅下降后, 竹农出于成本与产出的考虑, 逐渐减小对竹林的投入, 在雷竹林集约栽培的后期, 对退化竹林不再投入。随着竹林的退化 (种植 10 a 后), 竹农水肥管理的积极性降低, 有的甚至撒手不管, 从而加速了林地退化。

以冬季覆盖和大量施肥为特征的雷竹林集约经营模式使林地土壤水溶性 Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 含量随着种植年限的延长而急剧增加并积累。雷竹林土壤水溶性钠离子在上层土壤中积累较少, 这与郭全恩等研究发现就蒸发量而言, 随蒸发量增大水溶态 Na<sup>+</sup> 容易迁移在表层 0~5 cm 土层而引起该土层水溶态 Na<sup>+</sup> 的减小一致<sup>[24]</sup>。4 种阳离子组成中以 Ca<sup>2+</sup> 为主。虽然钙含量是土壤中最丰富的元素之一, 通常情况下, 因供应不足而出现作物缺钙的现象较罕见, 所以人们会忽略钙肥的使用, 但钙对植物的抗逆能力有重要调节作用<sup>[25]</sup>。同时, 水溶性 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 素主要集中在下层 (>20~40 cm)。从上述几种土壤水溶性盐基离子的分布可以看出, 前期随着雷竹林经营时间的增加, 土壤表层 (0~10 cm)、亚表层 (>10~20 cm)、下层 (>20~40 cm) 土壤的盐基离子含量呈上升趋势, 但在雷竹林经营后期呈下降趋势。经大量调查发现, 雷竹林种植 5 a 后成林并开始覆盖, 种植 10 a 后开始退化, 竹农减少覆盖、施肥, 种植 16 a 后退化。于是出现在经营第 8 年时, 4 种水溶性阳离子在此时均达到最高值。这表明在竹林经营初期, 竹农使用大量化肥、覆盖有机物, 使得土壤水溶性盐基离子在经营效益好的林地逐渐升高, 但是, 随着经营年限的增加, 雷竹林地力下降, 竹笋产量也开始下降, 竹农经济收入减

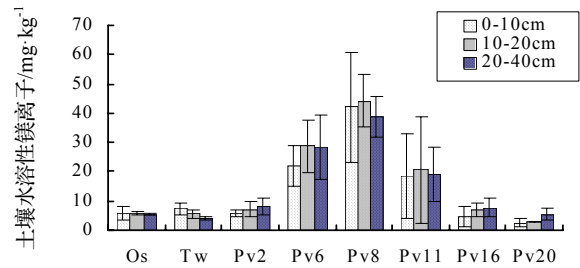


图 4 不同深度土壤水溶态镁含量随雷竹种植时间的变化

Figure 4 Content of water soluble Mg<sup>2+</sup> at different soil layer of different aged *Ph. praecox* cv. *prevernalis* stands

少从而降低了他们的积极性, 在经营 11 a 后, 雷竹林地开始退化, 经济效益差的雷竹林经营强度逐渐下降, 因此如何科学覆盖雷竹林地、调整水肥管理措施, 既要达到雷竹笋的早产高产, 同时又不对环境造成污染和土壤质量造成破坏, 需要进一步研究。以上分析确定了雷竹林地土壤盐渍化的演变规律, 为解决雷竹林地的可持续利用和产业的可持续发展中存在的土壤障碍问题提供理论支持。

#### 参考文献:

- [1] 方伟, 何均潮. 雷竹早产高效栽培技术[J]. 浙江林学院学报, 1994, 11 (2): 121 - 128.
- [2] 林海萍, 吴家森, 付顺华, 等. 雷竹笋采后贮藏生理的研究[J]. 江苏林业科技, 2002, 19 (4): 16 - 17.
- [3] 汪祖潭, 方伟, 何均潮, 等. 雷竹笋用林高产栽培技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [4] 余树全, 姜春前, 周国模, 等. 雷竹林生态系统健康的研究[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25 (5): 15-19.
- [5] 徐秋芳, 姜培坤, 陆贻通. 不同施肥对雷竹林土壤微生物功能多样性影响初报[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25 (5): 548 - 552.
- [6] 刘丽, 陈双林. 有机材料林地覆盖对雷竹林生态系统的负面影响研究综述[J]. 广西植物, 2009, 29 (3): 327 - 330.
- [7] 高永生, 王锁民, 张承烈. 植物盐适应性调节机制的研究进展[J]. 草业学报, 2003, 12 (2): 1 - 6.
- [8] Reitemeier R F. The chemistry of soil potassium [J]. Adv. Agron, 1951 (3): 113-164.
- [9] 徐晓燕, 马毅杰. 土壤矿物钾的释放及其在植物营养中的意义[J]. 土壤通报, 2001, 32 (4): 173-176.
- [10] Caines A M, Shennan C. Interactive effects of  $\text{Ca}^{2+}$  and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in  $\text{Ca}^{2+}$  use efficiency[J]. Plant Physiol Biochem, 1999 (37): 569-576
- [11] 吴刚, 李金英, 曾晓鸵. 土壤钙的生物有效性及与其它元素的相互作用[J]. 土壤与环境, 2002, 11 (3): 319 - 322.
- [12] Clara M, Magalhaes F. Arsenic. An environmental problem limited by solubility[J]. Pure Appl. Chem, 2002, 74 (10): 1 843 - 1 850.
- [13] 单巧玲, 罗金华, 夏玉琳. 土壤水溶性盐离子测定中应注意的问题[J]. 宁夏农林科技, 2003, 3: 45 - 47.
- [14] Matus P, Kuboba J, Bujdos M, *et al.* Determination of operationally defined fractions of aluminium in reference materials and acid attacked environmental samples[J]. Anal Chim Acta, 2005, 540: 33 - 44.
- [15] 陈子学, 肖波, 郑育锁, 等. 连续光源原子吸收光谱法测定土壤水溶性盐中钙镁[J]. 岩矿测试, 2008, 27 (2): 95 - 98.
- [16] 刘国群, 庄舜尧, 李国栋, 等. 不同种植年限下雷竹林土壤中铝的形态变化[J]. 土壤, 2008, 40 (6): 1 013 - 1 016.
- [17] 徐祖祥, 陈丁红, 李良华, 等. 临安雷竹种植条件下土壤养分的变化[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (13): 247 - 250.
- [18] 孙晓, 庄舜尧, 刘国群, 等. 集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响[J]. 土壤, 2009, 41 (5): 784 - 789
- [19] 黄芳, 蔡荣荣, 孙达, 等. 集约经营雷竹林土壤氮素状况及氮平衡的估算[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (6): 1 193 - 1 196.
- [20] 秦华, 徐秋芳, 曹志洪. 长期集约经营条件下雷竹林土壤微生物量的变化[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27 (1): 1 - 7
- [21] 李子川, 庄舜尧, 桂仁意, 等. 不同集约栽培年限下雷竹林土壤化学性质与生理毒性铝的分布[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28 (6): 837 - 844.
- [22] 蔡荣荣, 黄芳, 孙达, 等. 集约经营雷竹林土壤有机质的时空变化[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24 (4): 450 - 455.
- [23] 周国模, 金爱武, 何钧潮, 等. 覆盖保护地栽培措施对雷竹笋用林丰产性能的影响[J]. 中南林学院学报, 1999, 19 (2): 52-54.
- [24] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 等. 半干旱地区环境因子与果园表层土壤水溶性  $\text{Na}^+$  累积的关系[J]. 生态环境, 2008, 17 (6): 2 391 - 2 396.
- [25] 蒋廷惠, 占新华, 徐阳春, 等. 钙对植物抗逆能力的影响及其生态学意义[J]. 应用生态学报, 2005, 16 (5): 971 - 976.