

Influence of Calcium Cyanamide Application on the Pathogens and Traits of Lei Bamboo Forest Soil*

Zuxiang Xu

Hangzhou General Station of Plant Protection, Soil and Fertilizer, Hangzhou
Email: xzx6781317@163.com

Received: Mar. 26th, 2013; revised: Apr. 8th, 2013; accepted: Jun. 13th, 2013

Copyright © 2013 Zuxiang Xu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The comparative experiment was carried out by the application of calcium cyanamide in the amount of 600 kg/hm² to the soil where the Lei bamboo plantation had been more than 5 years so as to control the soil pathogens and improve the yield of bamboo shoot in Ling'an Lei bamboo forestry. To verify the main factors affecting the recession of Ling'an Lei bamboo forestry, investigation on the changes of soil traits and soil pathogens in the typical surface soil (0 - 20 cm) of Lei bamboo forestry was carried out in the present study. The results showed that 18 types of pathogenic bacteria were detected; the soil acidity was decreased dramatically, the lowest soil pH value reached 3.91; organic matter and available phosphorus content of soil increased significantly, the highest available phosphorus content reached 1272.03 mg/kg in the typical surface soil (0 - 20 cm) of Lei bamboo plantation more than five years without calcium cyanamide treatment. In contrast, in the soil with the supply of calcium cyanamide, no pathogenic bacteria was identified; soil acidity pH value reached 4.98, pH value increased by 1.07, showed statistical significant difference ($P < 0.05$).

Keywords: Calcium Cyanamide; Soil Treatment; Pathogenic Bacteria; Effect

氰氨化钙施用对雷竹林土壤病原菌和土壤理化性质的影响*

徐祖祥

浙江省杭州市植保土肥总站, 杭州
Email: xzx6781317@163.com

收稿日期: 2013年3月26日; 修回日期: 2013年4月8日; 录用日期: 2013年6月13日

摘要: 为了控制临安雷竹林土壤病原菌的发生及提高雷笋的产量, 采取氰氨化钙 600 kg/hm² 对雷竹林种植 5 年以上土壤进行处理对比试验。通过研究雷竹林典型土壤表土(0~20 cm)病原菌、性状的变化, 以探明临安雷竹林衰退的可能因素。结果表明, 种植 5 年以上雷竹林表土(0~20 cm)未经氰氨化钙处理, 病原菌测定共有 18 种细菌, 土壤酸度最低 pH 值达到了 3.91, 表土的有机质和速效磷含量明显提高, 速效磷含量最高可达 1272.03 mg/kg。与此相反, 经氰氨化钙处理之后土壤中未鉴定出细菌, 土壤酸度 pH 值达到了 4.98, 提高土壤酸度 pH 值 1.07, 达到极显著性差异水平($P < 0.05$)。

*基金项目: 浙江省科技厅“农业科技转化”项目(2009070009); 浙江省农业综合开发办“农业综合开发”项目(200909001)。

关键词: 氰氨化钙; 土壤处理; 病原菌; 影响

1. 引言

雷竹(*Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis*), 临安当地称为早竹、早园竹、菜竹, 具有出笋早、产量高、笋味鲜美、持续时间长, 效益大等特点。据统计, 2012年临安雷竹种植面积达 2.16 万 hm^2 , 年产量达 27.17 万 t。为了促进雷笋提前出笋和高产、高效, 近年来农民每年施用高含量氮、磷、钾配比的化学肥料和地表覆盖稻草、砻糠发酵加热种植方式, 增加土温, 生产反季节竹笋, 极大地提高了当地农民的经济效益。经长期这种模式种植, 不仅影响土壤理化性状, 同时出现土壤严重障碍, 引起土壤病原菌增加; 进一步导致雷笋产量下降、品质降低、竹林开花等一系列竹林衰退现象, 成为当前制约雷竹持续丰产高效的主要障碍。据初步调查, 雷竹覆盖种植 5 年以后, 雷竹林就会出现衰败, 衰败的原因可能与长期高含量氮、磷、钾配比的化学肥料施用和地表覆盖稻草、砻糠发酵加热种植方式有关^[1-6]。目前采用化学药剂消毒、蒸汽热消毒、太阳能消毒等土壤消毒措施是目前防治土传病害的主要方法^[7-10], 但对雷竹林土壤发生土传病后, 消毒方法研究甚少, 作者曾对临安雷竹林土壤消毒作过报道^[11-17], 为进一步研究竹林土壤病原菌及土壤理化性质的变化。本试验研究了氰氨化钙(分子式: CaCN_2)对种植 5 年以上雷竹林土壤进行消毒处理, 以探明雷竹林种植区的土壤病原菌及土壤理化性质变化的研究, 旨在为临安雷竹林土传病防治和雷笋持续优质高产、高效生产提供理论依据。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验概况

试验设在浙江省临安市锦城街道龙马村, 于 2009 年 3 月选择种植 5 年竹龄同一地块分成两块, 分别编号为地块 1 和地块 2。地块 1(简称 D1)未经氰氨化钙处理土壤; 地块 2(简称 D2)经氰氨化钙 $600 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 处理土壤。于同年 9 月 11 日和次年 3 月 15 日分别采集为 0~20 cm 深度不同地块土壤样品对土壤病原菌及土壤理化性质检测比较。

该地每年 11 月下旬至 12 月上旬地表覆盖有机物

以增温避冷保湿, 通常是在雷竹林地表先覆盖 10~15 cm 稻草, 再在上面覆盖 10~15 cm 的砻糠, 稻草用量 $40 \text{ t}/\text{hm}^2$, 砻糠用量 $55 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。每年施 3 次肥, 时间分别为 5 月中旬、9 月中旬和覆盖前, 施肥量一般为 45% 无机复合肥(N:P:K = 15:15:15) $2.25 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

2.2. 实验方法

2009 年 9 月 11 日秋季与 2010 年 3 月 15 日春季进行随机采样的样本比较。随机样本的采集采用五点采样法; 病竹根围的土样是指从发病雷竹根围采集的样品; 死竹根围土样是指从已死亡的雷竹根围采集的土样; 病竹以及死竹则以雷竹的枝条和叶片为样本。细菌种类的确定, 经初步鉴定后的细菌菌株, 用脂肪酸鉴定的方法确认菌种名称; 对难以用脂肪酸鉴定做出鉴定的菌株, 用 PCR 分析与 ITS 序列测定。

脂肪酸鉴定: 采用美国 Agilent 6890 型气相色谱系统。所有纯化的参试菌株先在 NA 培养基上于 30°C 生长 24 h 后, 转入 TSBA 固体培养基上再培养 24 h。然后用无菌塑料接种环挑取一环培养菌放入有螺帽的试管中, 提取脂肪酸。鉴定结果通过微生物鉴定系统软件 - 美国 MIDI 公司开发的基于细菌细胞脂肪酸成分鉴定细菌的 MIS4.5(microbial identification system)和 LGS4.5(library generation software)获得。把分析结果与数据库中标准菌种的脂肪酸信息进行比对。

PCR 分析与 ITS 序列测定: 根据已发表的植物细菌 ITS 区的通用引物对分离到的细菌进行 PCR 扩增, 正反向引物分: P1 ($5'$ -AGAGTTTGATCATGGCTCA) 和 P2($5'$ -ACGGTTACCTTGTTACGACTT- $3'$)。扩增反应体积 $20 \mu\text{l}$ [DNA 模板 $1 \mu\text{l}$; P1($10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) $0.5 \mu\text{l}$; P2($10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) $0.5 \mu\text{l}$; $2 \times \text{Taq PCR StarMix}$ $10 \mu\text{l}$, 双蒸水补足至 $20 \mu\text{l}$]。反应条件为 94°C 预变性 5 min; 94°C 变性 25 s, 65°C 退火 25 s, 72°C 延伸 1 min, 共 35 个循环; 72°C 延伸 5 min。最后 4°C 保存。PCR 反应在 PTC-200 型热循环仪上进行, 取 $5 \mu\text{l}$ 反应液在 1.0%的琼脂糖凝胶上进行电泳检测, 得到 1.5 kb 大小的条带。将 PCR 产物送上海泽衡生物技术责任公司克隆并测序。将得到的测序结果在 GenBank(登录

http://www.ncbi.nlm.nih.gov 网址)进行 blast 比对。

土壤基本理化性质的测定采用常规方法, 采集耕层土壤 0~20 cm, 将土壤混合样品置于室内晾干, 将土壤粉碎后共分成 2 份, 先取 1 份通过 60 号筛后, 直接测定土壤速效 N、速效 P、速效 K、pH; 另取 1 份研磨, 使其通过 100 号筛后, 测定土壤有机质、全 N。其分析方法为: 土壤有机质用重铬酸钾氧化-容量法测定, 全 N 用半微量凯氏法测定, 速效 N 用碱解扩散法测定, 有效 P 用钼锑抗比色法测定, 速效 K 用乙酸铵提取法测定^[18,19]。交换性酸采用 1 mol/L KCl 溶液淋溶 2 mm 土样, 然后用标准碱液滴定滤液中的总酸度测定^[20]。

3. 结果与讨论

3.1. 氰氨化钙施用对竹林土壤病原菌的影响

为明探明雷竹林土壤施用氰氨化钙后对土壤病原菌的影响, 对 2009 年 3 月施用氰氨化钙后的竹林土壤进行两次采样分析, 比较了施用氰氨化钙与不施用氰氨化钙雷竹地块的土壤细菌含量以及种类的差异。从表 1 可以看出, 竹林土壤施用氰氨化钙 6 个月后, 随机采样病原菌从 3.3×10^5 (CFU/g) 下降至 1.2×10^4 (CFU/g); 死竹根围土样病原菌从 4.85×10^5 (CFU/g) 下降至 5.9×10^3 (CFU/g); 病竹根围土样病原菌从 1.97×10^6 (CFU/g) 下降至 2.9×10^2 (CFU/g)。施用 1 年后, 随机采样病原菌从 1.93×10^6 (CFU/g) 降至为零; 死竹根围土样病原菌从 7.92×10^6 (CFU/g) 降至为零; 病竹根围土样病原菌从 8.7×10^6 (CFU/g) 降至为零。从表 1 可以看出: 施用氰氨化钙 1 年后, 竹林土壤随机采样、病竹、死竹根围土样、死竹和病竹根围土样病原菌检测数值为零, 这表明氰氨化钙处理竹林土壤具有杀灭病原菌的效果。

3.2. 氰氨化钙施用对竹林土壤细菌种类的影响

D1 未氰氨化钙处理土壤, 两次分离一共鉴定出来 18 种细菌, 包括 *Alcaligenes faecalis*(粪产碱杆菌), *Arthrobacter pascens*(耐盐碱杆菌), *Bacillus anthracis*(炭疽杆菌), *Bacillus megaterium*(巨大芽孢杆菌), *Bacillus mycoides*(蕈状芽孢杆菌), *Brevibacillus parabrevis*(副短短芽孢杆菌), *Burkholderia cepacia*(洋葱伯克氏菌 I 型), *Burkholderia cenocepacia*(洋葱伯克

Table 1. Effect of calcium cyanamide on the quantity of soil pathogen in the bamboo grove

表 1. 氰氨化钙施用对竹林土壤病原菌菌量的影响

采样地块	采样点	9 月 11 日测定带菌量(CFU/g)	3 月 15 日测定带菌量(CFU/g)
D1	随机采样	3.3×10^5	1.93×10^6
	病竹	5.1×10^8	2.04×10^6
	死竹根围土样	4.85×10^5	7.92×10^6
	死竹	3.0×10^6	2.6×10^6
	病竹根围土样	1.97×10^6	8.7×10^6
D2	随机土样	1.2×10^4	-
	病竹	4.7×10^5	-
	死竹根围土样	5.9×10^3	-
	死竹	4.0×10^5	-
	病竹根围土样	2.9×10^2	-

氏菌 III 型), *Burkholderia anthina*(洋葱伯克氏菌 VIII 型), *Burkholderia pyrrocinia*(洋葱伯克氏菌 IX), *Delftia acidovorans*(食酸戴尔福特菌), *Lysinibacillus sphaericus*(梭形杆菌), *Photobacterium angustum*(狭小发光杆菌), *Paenibacillus favisporus*(木聚糖菌), *Paenibacillus validus*(强壮类芽孢杆菌), *Ralstonia pickettii*(皮氏罗尔斯顿菌), *Stenotrophomonas maltophilia*(嗜麦芽寡养单孢菌)以及 *Virgibacillus pantothenicus*(泛酸枝芽孢杆菌)。而且优势种均为 *Ralstonia-pickettii* 和 *Bacillus anthracis*。说明季节的差异对于细菌种群的分布影响不大。洋葱伯克氏菌群(*Burkholderia cepacia complex*, 简称 Bcc)是一类具有促进植物生长作用的菌群, *Burkholderia cepacia*, *Burkholderia cenocepacia*, *Burkholderia anthina*, *Burkholderia pyrrocinia* 这四个种均属于 Bcc, 其在土壤中也占较大的比例。

由表 2、3 可见, 施过氰氨化钙的地块 2, 无论是随机采样还是病竹根围的土样, 其土壤带菌量都较地块 1 低, 说明氰氨化钙具有明显的杀菌效果。雷竹林土壤通过对氰氨化钙处理与未处理对细菌种类的对比发现, 土壤经氰氨化钙处理之后细菌的种类明显减少; 从表 2、3 及图 1 均显示了不同采样条件下的土壤带菌量。引起细菌数量变化的原因可能是季节因素, 造成土壤温度以及含水量等发生变化; 也可能是出笋期间雷竹根围环境的改变, 引起了细菌数量的增加。从表 3 可以看出, 在地块 1 细菌种类以及分离频

Table 2. The comparison of soil microbial species and isolation frequency in the samples gathered between D1 plot and D2 plot
表 2. D1 与 D2 土壤微生物种类及分离频率比较

细菌种类	D1	D2
<i>Alcaligenes-faecalis</i>	1	0
<i>Arthrobacter pascens</i>	1	1
<i>Bacillus anthracis</i>	7	4
<i>Bacillus-megaterium</i>	2	0
<i>Bacillus-mycoides</i>	3	2
<i>Brevibacillus-parabrevis</i>	2	1
<i>Burkholderia cepacia</i>	1	2
<i>Burkholderia cenocepacia</i>	6	3
<i>Burkholderia anthina</i>	3	3
<i>Burkholderia pyrrocinia</i>	1	1
<i>Delftia-acidovorans</i>	1	2
<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	2	2
<i>Photobacterium-angustum</i>	2	0
<i>Paenibacillus favisporus</i>	2	1
<i>Paenibacillus validus</i>	2	0
<i>Ralstonia-pickettii</i>	9	6
<i>Stenotrophomonas-maltophilia</i>	3	2
<i>Virgibacillus-pantothenicus</i>	2	0
总计	50	30

Table 3. The comparison of bacteria species and isolation frequency in the samples gathered between the autumn of 2009 and the spring of 2010

表 3. 2009 年秋季样本与 2010 年春季样本的细菌种类以及分离频率比较

细菌种类	2009 年秋季样本		2010 年春季样本	
	D1	D2	D1	D2
<i>Alcaligenes-faecalis</i>	1	-	-	-
<i>Arthrobacter pascens</i>	-	1	-	-
<i>Bacillus anthracis</i>	1	1	2	2
<i>Bacillus-megaterium</i>	1	-	-	1
<i>Bacillus-mycoides</i>	-	1	1	-
<i>Brevibacillus-parabrevis</i>	1	-	-	-
<i>Burkholderia cepacia</i>	-	1	1	1
<i>Burkholderia cenocepacia</i>	1	1	2	1
<i>Burkholderia anthina</i>	-	-	3	1
<i>Burkholderia pyrrocinia</i>	1	-	-	-
<i>Delftia-acidovorans</i>	1	1	1	-
<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	-	-	2	-
<i>Photobacterium-angustum</i>	-	-	-	-
<i>Paenibacillus favisporus</i>	1	1	-	1
<i>Paenibacillus validus</i>	1	-	-	-
<i>Ralstonia-pickettii</i>	1	2	5	-
<i>Stenotrophomonas-maltophilia</i>	-	1	2	3
<i>Virgibacillus-pantothenicus</i>	-	-	1	-
总计	10	10	20	10

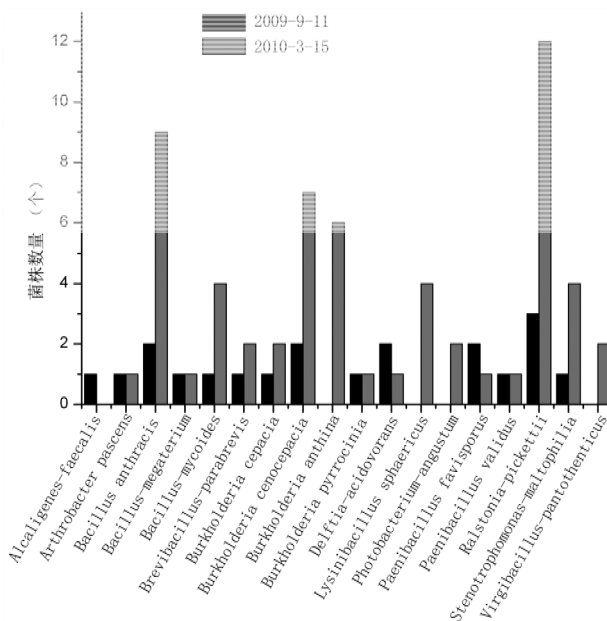


Figure 1. The comparison of microbial species and quantity in the samples gathered in D2 plot between the autumn of 2009 and the spring of 2010

图 1. D2 地块 2009 年秋季样本与 2010 年春季样本的微生物种类以及数量比较

率比地块 2 高，再次说明了不健康的植株更容易成为细菌大量繁殖的场所。

3.3. 氰氨化钙施用对竹林土壤性状的影响

雷竹林经氰氨化钙施用后土壤理化性质变化结果见表 4 未经氰氨化钙处理土壤 pH 3.91, 有机质 46.24 g/kg, 全氮 2.25 g/kg, 全磷 1.59 g/kg, 全钾 41.91 g/kg, 碱解氮 227.09 mg/kg, 有效磷 1272.03 mg/kg, 速效钾 527.03 mg/kg, 交换性酸 10.3 cmol/kg; 雷竹林土壤经氰氨化钙处理后土壤 pH 4.98, 有机质 46.00 g/kg, 全氮 2.31 g/kg, 全磷 1.40 g/kg, 全钾 43.46 g/kg, 碱解氮 210.78 mg/kg, 有效磷 1139.07 mg/kg, 速效钾 542.41 mg/kg, 交换性酸 3.70 cmol/kg; 由此可得出, 雷竹连续种植 5 年以上, 表层土壤出现明显的酸化现象, 表土(0~20 cm)的土壤 pH 值达到 3.91, 远低于雷竹适宜生长的 pH 值 4.5~7.0^[21]. D2 雷竹林土壤经氰氨化钙处理, 土壤 pH 值明显升高, pH 值上升至 4.98, 比 D1 提高土壤 pH 值 1.07, 缓解了土壤的酸化现象; D1 未经氰氨化钙处理的土壤, 从试验前土壤交换性酸含量 3.70 cmol/kg 上升至 10.33 cmol/kg, 提高 6.63 cmol/kg; 而 D2 经氰氨化钙处理, 从试验前 3.97 cmol/kg 下降至 0.90 cmol/kg. 这表明氰氨化钙处理土

Table 4. Effects of calcium cyanamide on soil physical and chemical properties
表 4. 氰氨化钙施用对土壤理化性质的影响

采样地块	土壤 pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	交换性酸(cmol/kg)	
									2009 年秋季	2010 年春季
D1	3.91	46.24	2.25	1.59	41.91	227.09 ±	1272.03	527.03 ±	3.70	10.33
	± 0.81	± 17.22	± 0.52	± 0.37	± 16.75	49.27	± 317.74	116.56	± 1.19	± 3.72
D2	4.98	46.00	2.31	1.40	43.46	210.78	1139.07	542.41 ±	3.97	0.90
	± 1.03	± 15.94	± 0.49	± 0.29	± 18.23	± 37.40	± 291.21	137.27	± 1.57	± 0.73

壤, 土壤 pH 值明显提高, 达到了显著性差异水平($P < 0.05$), 改良土壤酸度达到了预期的效果; 经氰氨化钙处理后土壤交换性酸含量明显降低, 与未氰氨化钙处理的土壤相比, 达到显著性差异水平。由此得出, 氰氨化钙处理雷竹林土壤能降低土壤交换性酸, 并最终达到提高土壤 pH 值的目的。

4. 结论

雷竹林土壤经氰氨化钙处理后, 雷竹土壤未检测到病原菌, 有效杀灭了土壤中的土传病害病原菌; 未经氰氨化钙处理的雷竹林土壤不同程度带有病原菌, 病竹周围土壤样品经检测, 病原菌达到 1.97×10^6 , 菌种类达 18 种。结果表明氰氨化钙处理雷竹林土壤具有明显的杀菌效果, 有效控制雷竹林土壤病原菌的发生, 能有效抑制土传病的发生与防治, 且雷竹林土壤有益菌比例增加, 说明氰氨化钙处理雷竹林土壤在一定程度上抑制有害细菌的同时也促进了部分有益菌的生长。由于氰氨化钙施用后, 使单氰氨转化成双氰氨, 在转化的过程中, 将病原菌杀灭。

经连续 5 年雷竹种植的土壤, 土壤的酸度发生了显著变化, 表土呈现明显的酸化现象, 最低的土壤 pH 值达到了 3.91, 远低于竹子最适生长土壤 pH 值, 土壤酸化引起土壤交换性酸度提高, 成为导致竹林退化的重要原因。这主要是由于竹农每年施用大量化肥, 使土壤 pH 下降, 土壤酸度加大。经研究结果得出, 氰氨化钙处理雷竹土壤后, 使雷竹林土壤 pH 值比未处理雷竹林土壤明显提高, 从土壤 pH 值 3.91 调至 4.98, 达到了显著性差异水平($P < 0.05$); 而交换性酸含量比未处理明显降低, 也达到了显著性差异水平。因为氰氨化钙含有 51% 钙的成分, 故在施用后, 能提高土壤 pH 值的效果。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 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): 1193-1196.
- [3] 杨芳, 徐秋芳. 不同栽培历史雷竹林土壤养分与重金属含量的变化[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 111-114.
- [4] 孙达, 黄芳, 蔡荣荣等. 集约经营雷竹林土壤磷素的时空变化[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(6): 670-674.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 李英梅, 张淑莲, 张锋等. 应用垄沟式太阳能消毒技术防治设施蔬菜根结线虫[J]. 西北园艺, 2008, 7: 4-5.
- [8] 陈志杰, 张淑莲, 李泽宽等. 陕西温室番茄根结线虫病发生规律与绿色防治技术[J]. 陕西农业科学, 2008, 54(5): 49-51.
- [9] 王春花, 崔征, 朱杨. 垄鑫土壤消毒剂在保护地中的应用效果及操作技术[J]. 中国蔬菜, 2007, 2: 56-57.
- [10] 王玉江, 翟乃军, 孙东文等. 日光温室番茄根结线虫无公害综合防治技术[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 235-237.
- [11] 徐祖祥. 连续施用荣宝土壤消毒剂对番茄、辣椒产量及土壤肥力的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(3): 91-93.
- [12] 徐祖祥. 肥药荣宝在辣椒上的施用效果[J]. 浙江农业科学, 2008, 5: 530-531.
- [13] 徐祖祥. 荣宝土壤消毒剂对西兰花、宝塔花菜等蔬菜产量及种植效益的影响[J]. 科技通报, 2009, 25(4): 456-459.
- [14] 徐祖祥. 荣宝土壤消毒剂对甜玉米、番茄、辣椒等作物产量与效益的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(6): 162-164.
- [15] 徐祖祥, 谢国雄, 徐进等. 设施栽培土壤施荣宝对作物产量及效益的影响[J]. 农业工程技术, 2011, 增刊: 9-44.
- [16] 徐祖祥, 陈丁红, 李良华等. 施荣宝土壤消毒剂对临安雷竹产量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29(4): 292-295.
- [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] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-195.
- [19] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62-136.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 22-36.
- [21] 吴士文, 索炎炎, 梁钢等. 集约经营下南方竹园土壤酸化特征与缓冲容量研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1120-1125.