

竹林笋期地下虫害和绿僵菌生物防治效果研究

俞文仙¹, 华克达¹, 滕莹¹, 金雅慧¹, 张亚波², 舒金平²

(1. 杭州市富阳区林业水利局, 浙江 杭州 311400; 2. 中国林科院 亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: 笋用林是杭州市富阳区重要的经济林资源, 但近年来受到竹林地下害虫的严重威胁。本研究调查了杭州市富阳区毛竹 *Phyllostachys edulis* 林、早竹 *P. praecox* 林及高节竹 *P. prominens* 林笋期地下害虫的种类及危害情况, 并开展了平沙绿僵菌 *Metarhizium pingshaense* 对竹林金针虫 *Melanotus cribricollis* 的生物防治试验。结果表明, 富阳区笋期主要地下害虫有竹林金针虫、浙江栉蝠蛾 *Bipsectilus zhejiangensis*、白蚁 *Odontotermes formosanus* 和露尾甲 *Haptonchus* sp.4 种, 其中, 以竹林金针虫危害最严重, 造成种笋退笋率高达 37.78%~62.93%。林间利用平沙绿僵菌颗粒剂防治竹林金针虫效果显著, 施放 2 年后的防治效果达 80.00%, 可应用于生产。

关键词: 竹林; 笋; 地下害虫; 竹林金针虫; 平沙绿僵菌; 生物防治

中图分类号: S763.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2020)05-0035-06

Soil Insects During Shooting Period and Control by *Metarhizium pingshaensis* against *Melanotus cribricollis* at Bamboo Stands

YU Wen-xian¹, HUA Ke-da¹, TENG Ying¹, JIN Ya-hui¹, ZHANG Ya-bo², SHU Jin-ping²

(1. Fuyang Forestry and Water Conservancy Bureau of Zhejiang, Hangzhou 311400, China;

2. Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China)

Abstract: In March and April 2017, investigations were carried out every 7 days on damaged shoots and degraded shoot at *Phyllostachys edulis*, *P. praecox* and *P. prominens* stands in Fuyang, Zhejiang province. Insects found were fed in lab. In 2017 and 2018, experiment was made on control of *Melanotus cribricollis* by *Metarhizium pingshaensis*. The results showed that there were four main soil insects, namely *M. cribricollis*, *Bipsectilus zhejiangensis*, *Odontotermes formosanus* and *Haptonchus* sp., especially *M. cribricollis*, causing 37.78%-62.93% death of shoot. The experiment demonstrated that *M. pingshaensis* had significant control efficiency against *M. cribricollis*, the control effect was 80% after 2 years consecutive application.

Key words: bamboo stand; bamboo shoot; soil insects; *Melanotus cribricollis*; *Metarhizium pingshaensis*; biological control

竹产业是集生态、经济与社会效益于一体的绿色产业, 已成为竹区林业经济发展的重要支柱^[1-3]。杭州市富阳区是浙江省重要的竹资源富集区, 有竹种 10 属 66 种, 7 变种, 19 个变型, 全区现有竹林面积 3.33 万 hm², 其中, 毛竹 *Phyllostachys edulis* 林面积有 2.91 万 hm², 早竹 *P. praecox* 林、高节竹 *P. prominens* 林、红哺鸡竹 *P. iridescens* 林及乌哺鸡竹 *P. vivax* 林等特色有较高经济价值的食用竹林有 4 267 hm², 竹笋产业年产值超过 5 亿

收稿日期: 2020-02-10; 修回日期: 2020-08-25

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD060090302); 杭州市富阳区农业科技推广项目(富农(2019)64号)

作者简介: 俞文仙, 高级工程师, 从事森林病虫害综合治理工作; E-mail: 471454753@qq.com。通信作者: 舒金平, 副研究员, 从事森林病虫害综合治理技术研究; E-mail: shu_jinping001@163.com。

元,竹笋产业成为全区最为重要的农业产业之一^[4-6]。但是,由于长期的高强度集约经营,笋用林内地下害虫逐渐爆发成灾,发生严重的竹林因地下害虫造成的退笋率高达 60%以上,造成笋产量和质量的显著下降,甚至造成竹林荒芜,严重影响了富阳区特色竹产业的发展^[7-8]。

地下害虫监测及防治难度大,一直是植保工作的难点。针对地下害虫的防治,国内外学者开展了大量研究^[9-10],而药剂防治仍是控制地下害虫的主要手段,筛选出了氟虫氰、丁烯氟虫氰、吡虫啉、辛硫磷及毒死蜱等用于地下害虫的化学药剂^[10-11],但随着对食品及生态安全的日益重视,地下害虫的生态防控,尤其是生物防治备受关注^[12-13]。为此,针对竹林地下害虫危害的问题,本文对富阳区主要笋用林的笋期地下害虫种类和发生情况进行了调查,并就主要害虫竹林金针虫 *Melanotus cribricollis* 开展了生物防治技术的研究,以为富阳区竹林笋期地下害虫的防控及竹笋产业的健康发展提供技术支持。

1 研究方法

1.1 研究地概况

富阳区地处浙江省杭州市西南角,地理坐标介于 29°44'45"~30°11'58.5" N, 119°25'~120°19.5' E,为典型的江南丘陵,属亚热带季风气候,冬冷夏热,四季分明,降水充沛,光照充足。年平均气温 16.1℃,7 月平均气温 28.6℃,1 月平均气温 3.6℃,年平均降水量 1 441.9 mm^[14]。依据富阳区笋用竹种植及经营的情况,本研究选择了永昌镇、新登镇及大源镇 3 个镇作为竹林地下害虫调查及防治试验区。永昌镇及新登镇位于富阳区的西部,是早竹、高节竹等笋用竹主要种植区,其中,永昌镇有竹林 2 007.8 hm²,新登镇有竹林面积 5 840.6 hm²;大源镇位于富阳区南部,为毛竹的主要分布区,有毛竹林面积 5 535.1 hm²。在 3 个镇共选择了 10 块样地进行毛竹、早竹和高节竹 3 种竹林地的地下害虫调查,见表 1。

表 1 调查及各采样点概况
Table 1 Information of sampling sites for investigation

| 样地 | 地理坐标 | 竹种 | 面积/m ² | 竹龄/a | 竹林经营管理方式 | 立地 | 立竹密度 (/株·m ²) |
|------|---------------------------------|-----|-------------------|------|---------------------------|--------|------------------------------|
| 永昌-1 | 30°02'11.2" N 119°43'23.8" E | 毛竹 | 505.6 | 10 | 近 3 a 连续薅糠覆盖、翻耕、施复合肥 | 阴坡 5° | 0.29 |
| 永昌-2 | 30°02'29.3" N 119°42'03.6" E | 早竹 | 455.9 | 12 | 每年施复合肥、翻耕,从未薅糠覆盖,不用农药 | 平地 | 1.82 |
| 永昌-3 | 30°02'55.7" N 119°42'09.5" E | 高节竹 | 310.6 | 7 | 每年施复合肥、翻耕,近 2 a 薅糠覆盖,不用农药 | 平地 | 1.61 |
| 永昌-4 | 30°02'16.9" N 119°42'58" E | 早竹 | 342.7 | 14 | 每年施复合肥、翻耕,从未薅糠覆盖,注干防虫 | 平地 | 0.81 |
| 新登-1 | 30°03'11.7" N 119°41'45.2" E | 毛竹 | 477.5 | 15 | 每年施复合肥、翻耕,从未薅糠覆盖,注干防虫 | 阳坡 11° | 1.37 |
| 新登-2 | 30°02'46.8" N 119°41'18.5" E | 早竹 | 291.6 | 10 | 近 3 a 未覆盖,每年施复合肥、翻耕 | 阳坡 5° | 1.52 |
| 新登-3 | 30°02'31.8" N 119°42'08.4" E | 高节竹 | 416.9 | 11 | 以前薅糠覆盖,覆盖 2 a,每年施复合肥、翻耕 | 阴坡 7° | 1.42 |
| 大源-1 | 29°54'18.2" N 120°04'21.2" E | 早竹 | 369.2 | 10 | 正常采挖冬笋和鞭笋,未覆盖、施肥 | 平地 | 1.78 |
| 大源-2 | 29°53'52.6" N 120°02'33.2" E | 毛竹 | 475.3 | 15 | 正常采挖冬笋和鞭笋,未覆盖、施肥 | 平地 | 0.35 |
| 大源-3 | 29°54'45.9" N 120°02'30.6" E | 毛竹 | 618.1 | 15 | 正常采挖冬笋和鞭笋,未覆盖、施肥 | 阳坡 8° | 0.27 |

1.2 笋期害虫种类调查

于 2017 年 3 月中旬至 4 月中旬,定期(每隔 7 d)对不同样地内的竹笋受害率、种笋退笋率等数据进行调查;调查时,随机选择一定数量的笋进行挖掘调查,依据危害状况确定是否受害,记录危害症状,统计受害率。对于留养的种笋,首先观察笋的外部形态,确定为退笋后挖掘调查,记录是否受害,统计因虫害造成的退笋率。鲜笋受害率调查时每块早竹及高节竹样地笋抽样数量不少于 20 株,毛竹不少于 10 株。种笋退笋率调查时各样地内抽样数量不少于 10 株。在调查挖掘过程中,收集到害虫拍照后,带回实验室饲养。

1.3 种类鉴定

将采集的幼虫带回实验室饲养, 结合《中国经济昆虫志》《湖南森林昆虫图鉴》及《中国经济叩甲图志》等分类参考书^[15-16]、分类文献及与中国林科院亚热带林业研究所昆虫标本室馆藏标本比对完成所采集害虫标本的鉴定。

1.4 竹林金针虫的生物防治

1.4.1 施菌前虫口密度调查 在永昌镇长盘村永昌庄园随机选择 3 组 6 块金针虫危害较重的早竹林地作为试验样地(每组对照和处理各 1 块样地, 如表 2)。2015–2017 年, 对 6 块样地在均连续 3 a 进行苍糠覆盖、2018 年后未覆盖, 每年翻耕、施复合肥, 未进行地下害虫防治。在各试验样地以“S 样线法”取 5 个小样方, 小样方面积为 1.0 m×1.0 m, 翻土 25 cm 深, 统计所挖土方中竹林金针虫的数量, 记作虫口密度。于 2017–2019 年每年 3 月 31 日至 4 月 1 日, 在每块试验样地内随机挖查一定数量的竹笋(鲜笋数量>30 株, 包括留养的种笋), 统计竹笋的受害率。

表 2 防治试验样地概况
Table 2 Information of sampling sites for control

| 样地组号 | 试验处理 | 面积/(m×m) | 竹龄/a | 立地 | 立竹密度/(株·m ⁻²) |
|------|-------|----------|------|-------|---------------------------|
| 1 | 绿僵菌处理 | 23.6×20 | 16 | 阳坡 9° | 1.79 |
| | 对照 | 21.7×20 | 16 | 阳坡 9° | 1.82 |
| 2 | 绿僵菌处理 | 28.7×20 | 16 | 阳坡 5° | 1.33 |
| | 对照 | 22.9×20 | 16 | 阳坡 5° | 1.70 |
| 3 | 绿僵菌处理 | 23.0×20 | 15 | 平地 | 1.69 |
| | 对照 | 23.3×20 | 15 | 平地 | 1.74 |

注: 同组的处理和对照样地间距大于 15 m, 小于 30 m。

1.4.2 林间施菌 2017–2018 年, 每年 4 月末挖笋结束后, 选用中国林科院亚热带林业研究所生产的 2%绿僵菌生防菌颗粒剂(平沙绿僵菌 *Metarhizium pingshaensis* 颗粒剂)在选定的 3 块防治样地中进行绿僵菌处理试验。各防治样地施菌量以 75 kg·hm⁻² 为标准, 按样地面积计算施菌量。施菌方法采用沟施法, 埋施沟宽为 20 cm, 沟间距为 20 cm, 沟深为 20~30 cm。将菌剂与沙土或有机肥(质量比 1:5)搅拌均匀后施入沟内, 用土覆盖。同年 9 月底再次施用 1 次。同时, 设与各防治样地同组的另外 1 块样地作为对照(表 2), 共 3 块对照样地, 对照样地不施用任何药剂, 仅进行挖沟处理。试验期间, 试验样地及对照样地均正常挖笋和管理。

1.4.3 药效检查 于 2018–2019 年每年 3 月 31 日至 4 月 1 日, 在试验样地和对照样地内进行虫口密度和笋受害率调查, 调查方法同 1.4.1。因在防治过程中, 竹林金针虫的虫口及危害率仍有自然变化, 因此, 其防治效果(P)计算如下^[17]:

$$P(\%) = (1 - \frac{T \cdot CK_0}{T_0 \cdot CK}) \times 100$$

式中, T 为防效检查时防治区的危害率, T₀ 为防治区危害率基数, CK 为防效检查时对照区的危害率, CK₀ 为对照区危害率基数。

2 研究结果

2.1 笋期地下害虫种类及危害情况

在富阳区永昌镇、新登镇及大源镇等主要竹笋产区进行了笋期地下害虫调查, 结果表明, 在富阳区笋用林内主要发生的地下害虫为竹林金针虫、浙江栉蝠蛾 *Bipectilus zhejiangensis*、黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 和露尾甲 *Haptonchus* sp.4 种。4 种害虫均取食竹笋地下部分, 包括笋蒲头、鞭笋、鞭根。受害竹笋笋尖失去光泽, 无露水; 严重者地上部分竹箨发白, 枯萎脱落, 笋尖发黄、萎蔫死亡, 竹笋无法继续长高和成竹。各害虫的危害特征明显不同。受竹林金针虫危害的竹笋地下部分侵入孔和取食槽明显, 蛀道不规则, 内壁粗糙; 浙江

栉蝠蛾危害有明显的蛀孔和蛀道，但蛀道内壁光滑；白蚁和露尾甲均在笋表面危害，形成明显的坑，无蛀道（危害特征见图 1）。

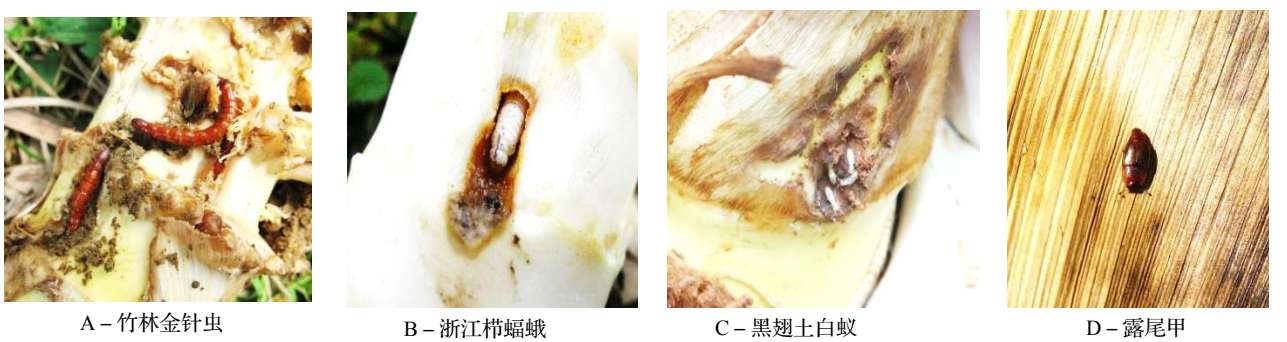


图 1 富阳区 4 种主要笋期地下害虫的危害特征

Figure 1 Damage characteristics of four insects to shoot in Fuyang

所选择调查的 3 个镇竹种分布和种植模式均有区别，不同虫种在各镇的危害情况不同，见表 3。由表 3 可知，竹林金针虫在永昌镇发生最为严重，危害率达到 49.47%；浙江栉蝠蛾在新登镇发生最严重，达 22.54%，而黑翅土白蚁和露尾甲均在大源镇发生最为严重，危害率分别达到 16.46%和 28.66%。

在所发现的 4 种主要地下害虫中，以竹林金针虫的危害最为严重，造成的损失最大。对不同镇不同竹种的调查表明，永昌镇早竹受害最为严重，50%以上鲜笋受害，其中，种笋的受害率超过 60%；在新登镇，高节竹受害最为严重，危害率超过 35%，种笋受害率在 50%以上；而在大源镇，早竹笋（鲜笋和种笋）的受害率低于其他两地（表 4）。

表 3 主要笋用竹地下害虫在不同竹区的危害情况
Table 3 Damage of fou insects in different sampling sites

| 调查地点 | 抽样鲜笋数/株 | 主要地下害虫 | | | | | | | |
|------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | | 竹林金针虫 | | 浙江栉蝠蛾 | | 黑翅土白蚁 | | 露尾甲 | |
| | | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% |
| 永昌镇 | 564 | 279 | 49.47 | 73 | 12.94 | 19 | 3.37 | 89 | 15.78 |
| 大源镇 | 164 | 41 | 25.00 | 12 | 10.44 | 27 | 16.46 | 47 | 28.66 |
| 新登镇 | 386 | 151 | 39.12 | 87 | 22.54 | 14 | 3.39 | 33 | 8.55 |

注：调查数据为 2017 年。

表 4 竹林金针虫对不同竹种的危害情况
Table 4 Damage of *M. cribricollis* on shoot of different bamboo species

| 调查地点 | 竹种 | 鲜笋 | | | 种笋 | | |
|------|-----|---------|---------|-------|---------|---------|-------|
| | | 抽样鲜笋数/株 | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% | 抽样鲜笋数/株 | 受害鲜笋数/株 | 受害率/% |
| 永昌镇 | 毛竹 | 42 | 8 | 19.05 | — | — | — |
| | 早竹 | 415 | 224 | 53.98 | 116 | 73 | 62.93 |
| | 高节竹 | 107 | 47 | 43.92 | 43 | 22 | 51.16 |
| 大源镇 | 毛竹 | 62 | 12 | 19.35 | — | — | — |
| | 早竹 | 102 | 29 | 28.43 | 45 | 17 | 37.78 |
| 新登镇 | 毛竹 | 47 | 12 | 25.53 | — | — | — |
| | 早竹 | 259 | 108 | 41.70 | 120 | 53 | 44.17 |
| | 高节竹 | 80 | 31 | 38.75 | 59 | 31 | 52.54 |

注：调查数据为 2017 年。

2.2 竹林金针虫的生物防治

试验结果表明，连续两年施用平沙绿僵菌颗粒剂能显著降低鲜笋的受害率和竹林内金针虫的虫口密度（图

2)。处理样地内鲜笋受害率由防治前(2017年)的55.17%降至防治后(2019年)的12.92%,而对照样地内竹笋受害率则由2017年的54.88%上升到2019年的64.27%,施用绿僵菌防治效果达80.00%,防效极显著($F=3.43$, $P<0.01$,图2A);虫口密度也由防治前的1.88头·m⁻²减少至防治后的0.92头·m⁻²(图2B),而对照样地内的竹笋受害率及虫口密度均明显上升。

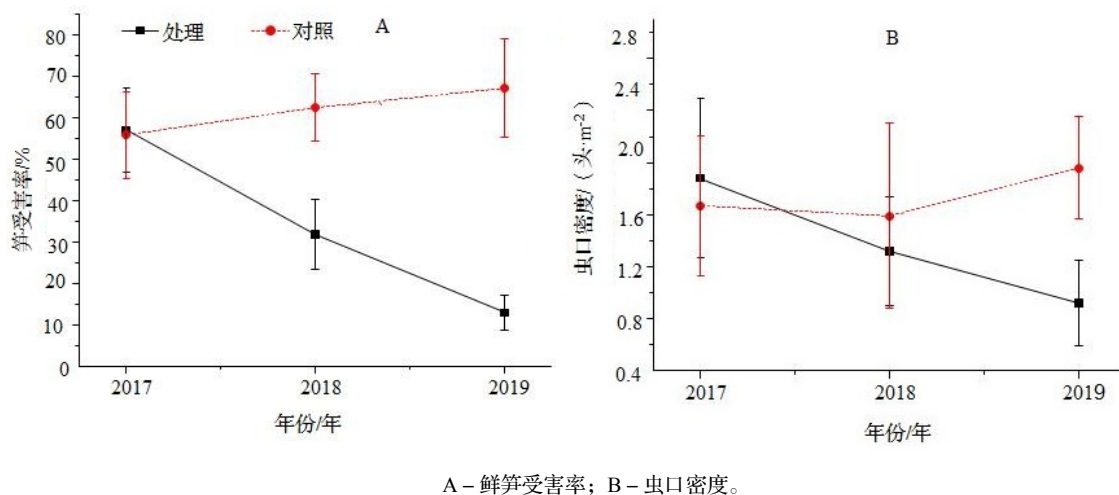


图2 竹林金针虫的生物防治效果

Figure 2 Control effect of *M. pingshaensis* against *M. cribricollis* in field

3 结论与讨论

本研究通过对杭州市富阳区不同竹区、不同笋用竹种的持续调查,发现笋期地下主要害虫有竹林金针虫、浙江栉蝠蛾、黑翅土白蚁和露尾甲4种,其中,以竹林金针虫危害最为严重,在所调查的3个乡镇中平均危害率达37.86%,造成大量的虫害笋和退笋(表3)。同时,鲜笋的大量挖掘,使得竹林金针虫在危害高峰期(4-5月)食物量不足,导致留养的种笋受害严重,退笋率高达60%以上,严重者无一笋成竹(表4)。另外,通过施用绿僵菌菌剂能有效降低竹林金针虫的危害,连续两年施用防治效果达到80%。

近年来,由于农糠覆盖及化肥的大量使用,竹林能量支出过大,退化严重,自身对害虫、台风等灾害的抵御能力减弱^[18-19]。同时,由于反季节出笋,造成竹鞭养分提早过度消耗,在覆盖竹园中对留养笋竹及竹鞭损害尤为严重,成竹春季生长受到影响,竹林退化现象明显,使得竹笋害虫更易发生,加之大面积的笋用竹纯林,为害虫的大面积爆发提供了条件^[20]。富阳区是杭州地区重要的竹笋产区,竹林高强度经营历史久,造成地下害虫发生严重。另外,由于竹林金针虫成虫喜欢在腐殖质丰富的土壤中产卵,砻糠的大量使用,在林间腐烂后为竹林金针虫成虫产卵提供了极佳的场所,也为无笋期的营养补充提供了来源,因而导致竹林金针虫危害严重^[20]。植食性昆虫对不同的寄主存在偏好,本研究发现在富阳区,相对于早竹和高节竹,毛竹受竹林金针虫的危害较轻,其内在的机制需进一步研究。

目前,化学防治仍是防治竹林金针虫最为依赖和有效的防治方法之一,但农药污染、食品安全威胁及生态安全已成为世界民众关注的热点^[11,21]。笋用林是以有机笋食品生产为目标的经济林,因此研发高效的生物防治技术对于竹林金针虫等地下害虫的防治显得尤为重要^[22-24]。已报道过能寄生竹林金针虫的真菌种类相主要有白僵菌 *Beauveria* spp.和绿僵菌 *Metarhizium* spp.两类,其中,绿僵菌是主要的种类^[25]。研究表明,绿僵菌的不同菌株对金针虫的寄生率差异显著,Ansari等测定8个金龟子绿僵菌 *M. anisopliae* 菌株对土豆金针虫 *Agriotes obscurus* 的毒力,最低仅为10%,最高可达100%^[26];另外,来自于加拿大已经商业化的金龟子绿僵菌 LCR112 菌株对竹林金针虫的毒力与对土豆金针虫的毒力差异显著^[27-28],因此,虫生真菌的专一性决定着虫与菌的对应。本研究选用的平沙绿僵菌 wp08 菌株对竹林金针虫有较佳毒力,防效显著,可作为竹林金针虫防控生防菌株的首选,

并可在生产防治中加以应用。

参考文献:

- [1] 董文渊. 21 世纪中国竹产业可持续发展的历史机遇[J]. 世界林业研究, 2003, 16 (1): 42-45.
- [2] 杨开良. 我国竹产业发展现状与对策[J]. 经济林研究, 2012, 30 (2): 140-143.
- [3] 彭九生, 周玉卿. 优良竹笋有机食品产业化发展思路[J]. 竹子研究汇刊, 2002, 21 (4): 42-46.
- [4] 孙宇剑, 俞浩然, 周君刚, 等. 富阳市竹产业现状与发展对策[J]. 竹子学报, 2005, 24 (2): 48-52.
- [5] 赵卫国, 汤华勤. 浙江杭州富阳区竹类植物资源及竹产业发展建议[J]. 世界竹藤通讯, 2018, 83 (3): 63-65.
- [6] 徐发国, 孙宇剑. 富阳市竹产业发展现状与分析对策[J]. 杭州农业与科技, 2007 (2): 9-11.
- [7] 胡敏骏, 莫润宏, 舒金平, 等. 丁烯氟虫腈对竹林地下害虫金针虫的防效及其室内毒力评价[J]. 浙江农业科学, 2014, 1 (10): 1577-1579.
- [8] 谢严冰, 卢庭高, 徐华潮. 浙江省笋用竹病虫害发生机理及其防治措施[J]. 浙江林业科技, 2006, 26 (5): 55-58, 62.
- [9] 高燕, 雷朝亮, 黄求应. 我国地下害虫防治现状[J]. 湖北植保, 2011 (6): 8-12.
- [10] TRAUGOTT M, BENEFER C M, BLACKSHAW R P, *et al.* Biology, ecology, and control of elaterid beetles in agricultural land[J]. *Ann Rev Entomol*, 2015, 60: 313-334.
- [11] 王浩杰, 刘立伟, 舒金平, 等. 金针虫控制技术及其研究进展[J]. 中国森林病虫, 2008, 27 (1): 27-40.
- [12] 颜珣, 郭文秀, 赵国玉, 等. 昆虫病原线虫防治地下害虫的研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 1018-1024.
- [13] 郭志红, 崔永三, 杨弘平, 等. 卵孢白僵菌防治苗圃地蛴螬的应用技术[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29 (6): 32-35.
- [14] 董顺生, 王勤红. 南方蜜梨丰产优质栽培技术[J]. 浙江柑橘, 1998, 15 (4): 37-38.
- [15] 萧刚柔. 湖南省森林昆虫图鉴[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1992: 25-41.
- [16] 江世宏, 王书永. 中国经济叩甲图志[M]. 北京: 中国农业出版社出版, 1999: 139-153.
- [17] 阮寿康, 傅秋舫. 在害虫虫口自然增长情况下, 怎样计算防治效果[J]. 植物保护, 1979, 5 (1): 16-18.
- [18] 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.
- [19] 陈珊, 陈双林. 集约经营对雷竹林生态系统稳定性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30 (4): 578-584.
- [20] 陈双林. 毛竹林地覆盖竹笋早出技术应用的问题思考[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28 (5): 799-804.
- [21] RITTER C, RICHTER E. Control methods and monitoring of *Agriotes* wireworms (Coleoptera: Elateridae)[J]. *J Plant Dis Protect*, 2013, 120 (1): 4-15.
- [22] 舒金平, 滕莹, 陈文强, 等. 筛胸梳爪叩甲的防治技术研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25 (5): 60-65.
- [23] FURLAN L. IPM thresholds for *Agriotes* wireworm species in maize in Southern Europe[J]. *J Pest Sci*, 2014, 87 (4): 609-617.
- [24] GRABENWEGER G, MAYERHOFER J, JÜRG ENKERLI, *et al.* Preventive application of an entomopathogenic fungus in cover crops for wireworm control[J]. *Bio Control*, 2017 (1): 1-11.
- [25] PARKER W E, HOWARD J J. The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K.[J]. *Agr & For Entomol*, 2001, 3 (2): 85-98.
- [26] ANSARI M A, EVANS M, BUTT T M. Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control[J]. *Crop Prot*, 2009, 28 (3): 269-272.
- [27] KABALUK J T, ERICSSON J D. Seed treatment increases yield of field corn when applied for wireworm control[J]. *Agron J*, 2007, 99 (5): 1377-1381.
- [28] 叶碧欢, 张亚波, 舒金平, 等. 3 种绿僵菌对筛胸梳爪叩甲幼虫的毒力及保护酶活性的影响[J]. 林业科学, 2018, 54 (6): 100-108.