

虫生真菌在农林害虫生物防治中的应用

王记祥¹, 马良进²

(1. 浙江林学院 天目学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 简要回顾了虫生真菌的研究历史和现状, 列举了虫生真菌所属的 32 个属, 并对研究和应用较多的白僵菌属 *Beauveria* 和绿僵菌属 *Metarhizium* 等 9 种虫生真菌的特性进行了较详细的分析: 雕蚀菌属 *Coelomomyces* 适合于防治蚊 *Culicidae* 幼虫; 白僵菌属是目前世界上应用最成功的虫生真菌, 它可用来防治玉米螟 *Pyrausta nubilalis* 和松毛虫属 *Dendrolimus* 等多种农林害虫; 绿僵菌在防治土居害虫方面如金龟子属 *Anisoplia* 幼虫有着独特的效果等。分析了虫生真菌的侵入机制, 最后讨论了应用虫生真菌防治农林害虫的优势和不足。优势主要是昆虫病原真菌能侵染害虫的各个发育阶段和能引起疾病的流行等, 而不足则是虫生真菌的施用效果受环境中的温湿度影响较大, 且防治效果较慢等。表 1 参 24

关键词: 森林保护学; 虫生真菌; 害虫; 生物防治

中图分类号: S763.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)02-0286-06

Application of entomogenous fungi in biological control of agriculture and forestry pests

WANG Ji-xiang¹, MA Liang-jin²

(1. Tianmu School, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Briefly review the research history and current research situation of entomogenous fungi and list the thirty-two main genus which include entomogenous fungi. Nine species of entomogenous fungi (such as *Beauveria* and *Metarhizium*) were detailed described, which have been researched and employed more frequently. *Coelomomyces* sp. is suitable for controlling the larva of mosquitoes, using *Beauveria* sp. to control pests is one of the most successful pest control practices and it can effectively control pests of *Ostrinia nubilalis*, *Dendrolimus punctatus* etc., *Metarhizium* sp. is extremely effective in controlling larvae living in soil such as *Anisoplia austriaca*. The penetration mechanism of entomogenous fungi infecting pests was described, and the advantages and disadvantages of employing entomogenous fungi to control pests were discussed. The entomogenous fungi can infect each growth phase of pests and cause transmissible diseases, while this biological control easily influenced by temperature and humidity. [Ch, 1 tab. 24 ref.]

Key words: forest protection; entomogenous fungi; pests; biological control

虫生真菌是昆虫病原微生物中的最大类群, 它们也是自然界中控制害虫种群消长的一个重要因子。据野外调查越冬昆虫发现, 昆虫疾病中约有 60% 是由真菌引起的。因此, 虫生真菌在害虫生物防治中占有重要地位, 现已受到越来越多研究者的重视。中国是世界上较早记载虫生真菌的国家之一, 早在 2 000 多年前的《神农本草经》中就记载了受白僵菌属 *Beauveria* 感染而死亡的家蚕 *Bombyx mori* 幼虫(白僵蚕)具有药用价值, 这是人类对虫生真菌的最早记录。中国古代史籍中也多次记载了蝗

收稿日期: 2008-01-10; 修回日期: 2008-11-12

基金项目: 浙江省教育厅青年教师资助计划项目(2351000420)

作者简介: 王记祥, 讲师, 博士研究生, 从事森林病理学研究。E-mail: youngerti@tom.com

虫感染蝗噬虫霉 *Entomophaga grylli* 后“抱草而死”的现象^[1]。欧洲的最早记载则是 1779 年 De Geer 所写的关于苍蝇 *Musca domestica* 受蝇虫生霉 *Entomophthora muscae* 感染的情况；1835 年，意大利人 Bassi 首次用实验证明了球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 导致蚕病在法国、意大利等国的大流行；1879 – 1880 年，俄国人 Metchnikoff 用金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 防治奥国塞丽金龟幼虫 *Anisoplia austriaca* 试验成功；1882 – 1898 年，Forbes 和 Snow 在伊利诺斯州首次大规模应用白僵菌防治麦长蝽 *Blissus leucopterus*。中国从 20 世纪 50 年代开始应用白僵菌大规模防治大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* 和玉米螟 *Pyrausta nubilalis*，取得了显著效果；20 世纪 70 年代，应用白僵菌防治松毛虫 *Dendrolimus*，获得明显成功^[2]，以后应用白僵菌又规模不等地至少防治过 60 余种害虫，均取得了良好效果。

1 虫生真菌主要属和种类

据不完全统计，世界上已记载的虫生真菌约 100 属 1 000 多种。中国已报道的达 405 种，其中虫草属 *Cordyceps* 80 种，捕食和寄生线虫的真菌 10 种，寄生昆虫的真菌 215 种，报道的新种 24 种^[3]。可制成杀虫剂的种类主要有白僵菌、绿僵菌 *Metarhizium*，玫烟拟青霉 *Paecilomyces furmosoroseus*，蜡蚧轮枝孢 *Verticillium lecanii*，汤普森被毛孢 *Hirsutella thompsonii*，座壳孢 *Aschersonia*，镰刀菌 *Fusarium*，虫霉目 Entomophthorales 等。其中已经商品化生产的有链壶菌 *Lagenidium giganteum*，球孢白僵菌，布氏白僵菌 *Beauveria brongniartii*，金龟子绿僵菌，玫烟拟青霉和蜡蚧轮枝孢^[4]。表 1 为较常见的虫生真菌 32 个属。

表 1 虫生真菌主要的 32 个属

Table 1 A list of 32 genus that contain main entomogenous fungi

亚门	纲	属
鞭毛菌亚门 Mastigomycotina	壶菌纲 Chytridiomycetes	雕蚀菌属 <i>Coelomomyces</i> , 蝇壶菌属 <i>Myiophagus</i>
	卵菌纲 Oomycetes	链壶菌属 <i>Lagenidium</i>
接合菌亚门 Zygomycotina	接合菌纲 Zygomycetes	团孢霉属 <i>Massospora</i> , 虫霉属 <i>Entomophthora</i> , 虫疫霉属 <i>Erynia</i> , 虫疔霉属 <i>Pandora</i> , 三孢霉属 <i>Triplosporium</i> , 耳霉属 <i>Conidiobolus</i>
子囊菌亚门 Ascomycotina	核菌纲 Pyrenomycetes	虫草菌属 <i>Cordyceps</i> , 虫壳菌属 <i>Torrubiella</i> , 赤壳菌属 <i>Nectria</i>
	不整囊菌纲 Plectomycetes	球囊霉属 <i>Ascospaera</i>
担子菌亚门 Basidiomycotina	层菌纲 Hymenomycetes	隔担耳菌属 <i>Septobasidium</i>
半知菌亚门 Deuteromycotina	丝孢菌纲 Hyphomycetes	节丛孢属 <i>Arthrobotrys</i> , 白僵菌属 <i>Beauveria</i> , 蚊霉属 <i>Culicinomyces</i> , 绿僵菌属 <i>Metarhizium</i> , 野村菌属 <i>Nomuraea</i> , 青霉属 <i>Penicillium</i> , 曲霉属 <i>Aspergillus</i> , 拟青霉属 <i>Paecilomyces</i> , 球束梗孢属 <i>Gibellula</i> , 多毛孢属 <i>Hirsutella</i> , 枝束梗孢属 <i>Synnemalium</i> , 镰刀菌属 <i>Fusarium</i> , 链格孢属 <i>Alternaria</i> , 芽枝霉属 <i>Cladosporium</i> , 轮枝孢属 <i>Verticillium</i> , 层梗孢属 <i>Hymenostilbe</i> , 共胶霉属 <i>Syngliocladium</i>
	腔孢纲 Coelomycetes	座壳孢属 <i>Aschersonia</i>

2 主要属种及在害虫防治中的应用

2.1 雕蚀菌属 *Coelomomyces*

雕蚀菌属目前已发现了 40 多种，它们均为水生昆虫的专性寄生菌，可以侵染 11 属 60 多种蚊类害虫^[5]，如按蚊属 *Anopheles*，库蚊属 *Culex*，伊蚊属 *Aedes* 和脉毛蚊属 *Culiseta* 等，寄主以蚊科 Culicidae 幼虫为主。对多种按蚊的感染率在 50% 以上^[6]。刘素兰等^[7]研究发现，三带喙库蚊 *Culex tritaeniorhynchus* 幼虫被印度雕蚀菌 *Coelomomyces indicus* 感染后，死亡率高达 100%，而未被感染的对照

组幼虫未见死亡。不同龄期的蚊幼虫对雕蚀菌具有不同的敏感性,早龄蚊幼虫比晚龄蚊幼虫更易受雕蚀菌感染。雕蚀菌属真菌是最有希望用来防治蚊科幼虫的真菌。

2.2 虫霉属 *Entomophthora*

虫霉属真菌是分布广泛的一类真菌,有150多种,可寄生32个科的120多种昆虫^[8],它们是自然界中蝗虫、蝇类、蛾类、蚜虫 Aphididae、介壳虫 Coccoidea 和螨类的主要寄生菌,并常引起上述昆虫的流行病。20世纪60年代加拿大西部发生的蝗灾终因蝗噬虫霉 *Entomophthora grylli* 的流行而被抑制下去,蝗虫死亡率高达95%^[9]。虫霉菌还是引发蚜虫真菌流行病的优势类群,并且病害具有爆发性和稳定性延续的特点,因此,能在短期内将寄主虫口密度压制到一个很低的水平。加之虫霉菌对湿度要求不严格,在干旱条件下仍能大量侵染寄主,对温度的适应能力也较强,用于防治害虫是很有前途的。国内已于1979年攻克了弗雷生虫霉 *Entomophthora fresenii* 人工培养这一难题,用人工分离培养产生的孢子田间防治花生蚜 *Aphis craccivora*,杀虫率可达62.8%~87.3%^[11]。

2.3 白僵菌属 *Beauveria*

野外调查发现,因感染白僵菌而死的昆虫约占真菌致病总数的20%,该菌是目前世界上研究和应用最多的一种虫生真菌。球孢白僵菌是其中最著名的种,它可寄生15目149科707种昆虫,中国曾先后规模不等地应用该菌防治40余种害虫,从20世纪50年代开始,就有人研究和应用该菌防治玉米螟、大豆食心虫和甘薯叶甲 *Colasposoma dauricum*,20世纪70年代林业上应用此菌大面积防治松毛虫并获得了明显成功,目前生产上防治面积较大的主要是松毛虫、玉米螟和水稻叶蝉 *Nephotettix* 等,每年的防治面积达50万 hm^2 左右,是世界上最成功的生物防治实例。现在中国已成为世界上生产和使用白僵菌最多的国家,尤其是利用球孢白僵菌防治松毛虫的经验与技术令全世界瞩目。布氏白僵菌能寄生7目70余种昆虫,特别对鞘翅目 Coleoptera 害虫具有较好的防治效果。20多年来,已有十几个国家将布氏白僵菌用于田间防治试验,防治对象达10余种,如法国、瑞士等地连续多年用该菌防治西方五月鳃金龟 *Melolontha melolontha*,日本用该菌防治柳杉 *Cryptomeria fortunei* 和扁柏 *Chamaecyparis* 树上的柳杉天牛 *Semanotus ponicus*,中国用该菌防治农田和苗圃蛴螬,均取得了明显成效。近年来,由于松墨天牛 *Monochamus alternatus* 对松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 病传播的加剧,有关应用白僵菌防治松墨天牛的研究正逐年增多,并取得了一定的防治效果。如日本学者岛津光明^[10]利用球孢白僵菌无纺布菌条防治松墨天牛幼虫,林间平均致死率达80%。近年来浙江林学院正在利用肿腿蜂 Buprestidae 携带白僵菌孢子粉在林间主动感染松墨天牛幼虫,防治试验结果表明,幼虫被感染率达40%~65%。

2.4 金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*

此菌是最早用于生物防治的昆虫病原真菌,其寄主范围广。Veen 曾记载过8目42科204种寄主,杀虫效果明显,特别在防治土居害虫方面有着独特的效果^[11]。1879年,俄国人 Metchnikoff 首先用该菌防治奥地利金龟子 *Anisoplia austriaca* 幼虫试验成功。1882年,在德国用该菌防治白蚁,杀虫率可达92%~100%。现在巴西、澳大利亚、墨西哥、美国和日本等国均有绿僵菌商品制剂,主要用于防治沫蝉 *Cercopidae*,蚊子等。在非洲和澳大利亚应用该菌防治蝗虫,面积达数万公顷^[12]。中国农业科学院生物防治研究所于1993年在室内试验中用该菌防治东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis*,处理后第3天发现死虫,第10天死亡率达100%,1995年进行田间试验也取得了较好的防治效果。樊美珍等^[13]用绿僵菌防治柑橘吉丁虫也获得成功。在国内南方的甘蔗 *Saccharum officinarum* 种植区,用该菌防治蔗金龟 *Alissonotum impressicollis* 效果可达90.6%。此外,金龟子绿僵菌还可用于防治马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus*,天牛 *Cerambycidae*,梨星毛虫 *Illiberis pruni*,菜青虫 *Pieris rapae*,蠹虫 *Scolytidae*,蚊子等多种农林和卫生害虫^[14]。

2.5 汤普森被毛孢 *Hirsutella thompsonii*

该菌是柑橘锈螨 *Phyllocoptruta oleivora* 和其他粉虱 Aleyrodidae 的重要病原真菌,美国从20世纪60年代就开始该菌的人工分离培养及使用湿菌丝体防治柑橘锈螨,20世纪70年代末已制成菌粉。此外,英国、哥伦比亚等国除用它防治柑橘锈螨外,还防治乌板 *Vaccinium bracteatum*,椰子 *Cocos*

nucifera 和温室害虫。中国 1979 年便开始从事菌粉工业化生产, 主要防治柑橘锈螨、油菜蚜蚧等^[15]。

2.6 拟青霉属 *Paecilomyces*

拟青霉菌是一种全球分布的昆虫病原真菌, 它们能侵染 8 目 40 多种昆虫, 如白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*, 木虱 *Psyllidae*, 桃蚜 *Myzus persicae*, 铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 幼虫, 斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 等。中国已记载的拟青霉菌共有 16 种, 比较重要而常见的种是玫烟拟青霉和粉质拟青霉 *Paecilomyces farinosus*。

玫烟拟青霉在自然界寄主十分广泛。梁宗琦报道了该菌在茶园的寄主昆虫涉及鳞翅目 *Lepidoptera*、双翅目 *Diptera*、膜翅目 *Hymenoptera* 共 12 种。中国学者曾利用该菌防治水稻 *Oryza sativa*、蔬菜和林业上的多种害虫。刘爱英等人以该菌防治稻飞虱, 致死率达 54.9%。方祺霞用该菌的北京变种防治茶小绿叶蝉 *Empoasca* 和茶橙瘿螨 *Acaphylla theae*, 取得了很好的防效, 使这 2 种害虫一直控制在经济阈值以下。杨红明用该菌防治云南松毛虫 *Dendrolimus houi*, 思茅松毛虫 *Dendrolimus kikuchii*, 文山松毛虫 *Dendrolimus punctatus wenshanensis*, 角斑古毒蛾 *Orgyia gonostigma*, 云尺蠖 *Buzura thibetaria*, 20 d 后校正死亡率均在 90% 以上^[16]。20 世纪 60 年代日本曾用该菌防治桃小食心虫 *Carposina niponensis* 和蚕牛蝇 *Hypoderma bovis* 等害虫^[17]。

粉质拟青霉主要用于防治森林害虫, 其中以防治油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* 最为典型。武葜文^[18]用该菌防治油松毛虫, 采用的方法是在油松毛虫越冬前将菌剂撒在树干基部, 下地越冬的幼虫感染孢子后发病死亡, 死亡率约为 70%。骆有庆等^[19]应用此菌防治桑天牛 *Apriona germari*, 也获得较满意的结果。此外, 粉质拟青霉还可用于水稻、蔬菜等作物的害虫防治, 陈祝安用该菌防治菜蚜, 致死率达 90.6%。

拟青霉属虫生真菌多数种类具有生活力强、适应性广、易于培养和容易扩散的特点, 并且能够寄生茶园中的多种害虫, 是最有希望被用来开发防治茶叶害虫的真菌种类^[15]。

2.7 蜡蚧轮枝孢 *Verticillium lecanii*

该菌广泛分布于热带、亚热带和温带, 是一种治虫效果较好的真菌, 它寄主范围广, 不但可以寄生介壳虫、蚜虫、粉虱和飞虱 *Delphacidae* 等刺吸式口器昆虫, 还可以寄生鞘翅目和鳞翅目等咀嚼式口器昆虫以及螨类。该菌可以侵染温室中的粉虱除卵外的各个虫态, 而且不受粉虱种群密度的限制, 致病力稳定。在流行条件不适宜时, 可以在温室土壤或者有机物上存活, 度过不良环境, 因此, 特别适用于防治温室害虫^[20]。20 世纪 80 年代英国率先将该菌开发成杀虫剂, 并商品化生产, 主要用于防治温室蔬菜和花卉的蚜虫、白粉虱和蓟马 *Thrips palmi* 等。英国的 Hall 等在温室内用此菌防治菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni*, 李短尾蚜 *Brachycaudus helichrysi* 及桃蚜, 均取得一定的防效。Rana 等^[21]报道了印度应用该菌田间防治芥菜蚜虫和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*, 取得较好的防治效果。Franse 等在新泽西州用该菌防治白粉虱取得良好的效果。蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 成虫具有驱避作用。驱避作用与毒素浓度呈正相关, 而与培养基成分、寄主植物相关性不显著^[22]。

2.8 座壳孢属 *Aschersonia*

座壳孢属真菌对吸汁性害虫如介壳虫、粉虱等有极高的侵染性, 是粉虱和介壳虫的重要病原真菌。高日霞等将带有粉虱座壳孢 *Aschersonia aleyrodis* 子座的柑橘 *Citrus reticulata* 枝叶引入新区, 该菌可在橘园定殖并向四周扩散, 对柑橘粉虱 *Dialeurodes citri* 的自然寄生率可达 70% ~ 90%。彭中允等从四川引种粉虱座壳孢至前苏联, 防治柑橘粉虱的效果达 95% 以上。这种方法曾在前苏联各柑橘产区广泛应用。近年, 中国北方以乳突座壳孢 *Aschersonia papillaeipetch* 的孢子悬液喷雾 (2 ~ 4 万个孢子·mL⁻¹) 防治温室蔬菜白粉虱, 取得大面积成功, 寄生率可达 90 %^[23]。

2.9 莱氏野村菌 *Nomuraea rileyae*

该菌是一种世界性广泛分布的虫生真菌, 能寄生 40 多种昆虫, 其中对夜蛾科 *Noctuidae* 害虫的致病力较强, 在田间常引发棉铃虫 *Helicoverpa armigera*, 斜纹夜蛾, 黎豆夜蛾 *Anticarsia gemmatilis*, 大豆夜蛾 *Pseudoplusia includens* 等多种害虫的疾病流行, 对害虫种群有一定的控制作用。20 世纪 70 - 80 年代, 国外对莱氏野村菌的研究报道较多, 美国进行了大量的基础研究, 同时还进行了田间防治

试验,取得了较好的结果。巴西、印度、葡萄牙等国也有较多的相关研究。中国对莱氏野村菌的研究起步较晚,于1978年从棉铃虫上首次成功分离到此菌,其后对此菌的生物学特性和应用范围等方面均有一定的研究。

3 虫生真菌的侵入机制

虫生真菌的入侵是机械压力和酶共同作用的结果。真菌在入侵昆虫体壁前存在一个对营养的选择作用,并造成物理压力,从而能使真菌侵入内含丰富营养物质的虫体;另一方面,在入侵过程中,真菌分泌的酶可消解表皮,最终使侵染得以成功。目前的研究表明,真菌在入侵昆虫体壁过程中,分泌的酶有蛋白质酶、几丁质酶、脂酶和淀粉酶等。其中不少与入侵过程中表皮的降解、侵染机构的形成以及菌株的毒力等关系密切^[24]。

虫生真菌一般是以菌丝穿透体表侵入虫体,也可以通过消化道、气管和伤口侵入,多数真菌以分生孢子作为侵染源。具体侵入过程为孢子附着在昆虫体壁上,萌发产生芽管,并分泌一些降解蛋白质和几丁质的酶类物质,从芽管顶端的附着胞长出侵染丝穿透昆虫体表进入血腔,在血腔中断裂为菌丝段,菌丝段以芽殖方式大量繁殖同时吸取昆虫体内营养致使昆虫死亡。研究还发现,真菌在侵入后还产生一些毒素,这些毒素在昆虫致死过程中也起着极为重要的作用^[23]。

真菌毒素种类繁多,性质稳定,作用方式多样,如可阻碍核酸合成,使核酸变性,降低血淋巴中吞噬细胞的活性及被囊化作用,使肌肉麻痹,绝育,影响变态,拒食作用以及影响幼虫发育和卵孵化等。有的真菌所产生的毒素则有助于克服活体昆虫的防御反应,以使它们在血腔内广泛造成侵染。

提取生产虫生真菌毒素多数可与生产抗生素的设备和技术通用,作为农用杀虫剂的毒素,在生产上也不像医用抗生素那样对统一纯度等指标有很高的要求,且成本较低,因此其应用前景十分广阔^[14]。

4 问题讨论

昆虫病原真菌由于具有种类多、数量大、生理特性各异,能侵染各类昆虫和昆虫的各个发育阶段,不少种还能大量产孢引起疾病的流行,害虫很难对之产生抗性,生长繁殖快易生产等特点,因此,应用虫生真菌防治农林害虫具有十分明显的优势。但另一方面由于虫生真菌的施用效果受环境中的温湿度影响较大,且防治效果较慢,这些都制约了虫生真菌的大规模推广应用。随着对虫生真菌研究的深入和人们环保意识的增强,虫生真菌作为一种缓效、环保的生物防治材料会越来越受到重视。

参考文献:

- [1] 李增智. 虫生真菌在害虫治理中应用现状[J]. 安徽农学院学报, 1987, **14** (2): 59 - 66.
LI Zengzhi. The current situation of entomogenous fungi employed in pest control[J]. *J Anhui Agric Univ*, 1987, **14** (2): 59 - 66.
- [2] 李增智. 中国虫生真菌应用 50 年简史[J]. 安徽农业大学学报, 2007, **34** (2): 203 - 207.
LI Zengzhi. Fifty years of application of entomogenous fungi in China[J]. *J Anhui Agric Univ*, 2007, **34** (2): 203 - 207.
- [3] 王清海, 万平平, 黄玉杰, 等. 虫生真菌在害虫生物防治中的应用研究[J]. 山东科学, 2005, **18** (4): 37 - 40.
WANG Qinghai, WAN Pingping, HUANG Yujie, *et al.* Application of entomogenous fungus in biocontrol of pest[J]. *Sci Shandong*, 2005, **18** (4): 37 - 40.
- [4] SHAH P A, PELL J K. Entomopathogenic fungi as biological control agents[J]. *Appl Microb Biotechnol*, 2003, **61**: 413 - 423.
- [5] 林华峰. 虫生真菌研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 1998, **25** (3): 251 - 254.
LIN Huafeng. Proceedings in studies on entomogenous fungi[J]. *J Anhui Agric Univ*, 1998, **25** (3): 251 - 254.
- [6] 张美春, 郑小英, 詹希美. 蚊虫病原真菌研究进展[J]. 国际医学寄生虫病杂志, 2007, **34** (4): 211 - 214.
ZHANG Meichun, ZHENG Xiaoying, ZHAN Ximei. Proceedings in studies on pathogenic fungi of mosquitoes [J]. *Int J Med Parasit Dis*, 2007, **34** (4): 211 - 214.
- [7] 刘素兰, 徐荫祺. 印度雕蚀菌对三带喙库蚊幼虫生活力的影响[J]. 昆虫学报, 1982, **25** (4): 409 - 412.
LIU Sulan, XU Yingqi. The influence on the life of larva of *Culex tritaeniorhynchus* by the *Coelomomyces indicus* [J]. *J*

- Entomol*, 1982, **25** (4): 409 – 412.
- [8] 李伟, 宣维健, 王红托, 等. 我国大陆寄生蚜虫的病原真菌[J]. 昆虫知识, 2005, **42** (1): 31 – 34.
LI Wei, XUAN Weijian, WANG Hongtuo, *et al.* Review of entomogenous fungi infecting aphids in China[J]. *Entomol Knowl*, 2005, **42** (1): 31 – 34.
- [9] WILDING N. Pest control by entomophthorales [M]// BURGESS D W. *Microbial Control of Pests and Plant Diseases*. London: Academic Press Inc., 1981: 539 – 554.
- [10] SHIMAZU M. Microbial control of *Monochamus alternatus*: Hope by application of nonwoven fabric strips with *Beauveria bassiana* on infested tree trunks[J]. *Appl Entomol Zool*, 1995, **30** (1): 207 – 213.
- [11] 裘晖, 吴振强, 梁世中. 金龟子绿僵菌及其杀虫机理[J]. 农药, 2004, **43** (8): 342 – 345.
QIU Hui, WU Zhenqiang, LIANG Shizhong. *Metarhizium anisopliae* and its mechanism for killing insects[J]. *Pesticides*, 2004, **43** (8): 342 – 345.
- [12] 雷仲仁, 问锦曾. 绿僵菌治蝗研究进展[J]. 植物保护, 2004, **30** (4): 14 – 17.
LEI Zhongren, WEN Jinzeng. Advances in locust control with *Metarhizium anisopliae*[J]. *Plant Prot*, 2004, **30** (4): 14 – 17.
- [13] 樊美珍, 李农昌, 郭超, 等. 利用绿僵菌 Ma83 防治柑橘吉丁虫[J]. 杀虫微生物, 1991 (3): 278 – 279.
FAN Meizhen, LI Nongchang, GUO Chao, *et al.* Applying *Metarhizium* Ma83 to control *Chrysobothris igai*[J]. *Insect Microorg*, 1991 (3): 278 – 279.
- [14] 李春香, 安彦杰, 张淑红. 绿僵菌防治农林害虫研究进展[J]. 唐山师范学院学报, 2006, **28** (5): 4 – 6.
LI Chunxiang, AN Yanjie, ZHANG Shuhong. Studies on the killing effects of *Metarhizium* on farming and forestry pests [J]. *J Tangshan Norm Coll*, 2006, **28** (5): 4 – 6.
- [15] 徐伟松, 李建丰, 胡美英. 昆虫病原真菌在害虫防治上的应用[J]. 广西农业科学, 2003 (6): 51 – 52.
XU Weisong, LI Jianfeng, HU Meiyong. The application of pathogenic fungi of insects to control pests [J]. *Guangxi Agric Sci*, 2003 (6): 51 – 52.
- [16] 唐美君. 拟青霉属虫生真菌的研究应用概况与展望[J]. 中国茶叶, 2001 (3): 32 – 33.
TANG Meijun. The general study and application and prospect of entomogenous fungi of *Paecilomyces*[J]. *Chin Tea*, 2001 (3): 32 – 33.
- [17] 何恒果, 李正跃, 陈斌, 等. 虫生真菌对害虫防治的研究与应用[J]. 云南农业大学学报, 2004, **19** (2): 167 – 171.
HE Hengguo, LI Zhengyue, CHEN Bin, *et al.* Current status in basic and applied research on entomopathogenic fungi for pest management[J]. *J Yunnan Agric Univ*, 2004, **19** (2): 167 – 171.
- [18] 武巍文. 应用拟青霉等真菌防治油松毛虫[J]. 林业科学, 1988, **24** (1): 34 – 39.
WU Jianwen. The application of *Paecilomyces* and other fungi to control *Dendrolimus tabulaeformis*[J]. *Sci Silv Sin*, 1988, **24** (1): 34 – 39.
- [19] 骆有庆, 曲柄国. 在野外用粉拟青霉防治桑天牛的初步研究[J]. 南京林业大学学报, 1999, **23** (1): 45 – 49.
LUO Youqing, QU Binguo. The preliminary study of applying *Paecilomyces farinosus* to control *Apriona germari* in field [J]. *J Nanjing For Univ*, 1999, **23** (1): 45 – 49.
- [20] 刘幸红, 逯朋, 王清海, 等. 控制粉虱类害虫虫生真菌的应用研究[J]. 山东农业大学学报, 2007, **38** (2): 213 – 215.
LIU Xinghong, LU Peng, WANG Qinghai, *et al.* Application of entomogenous fungi to control whitefly[J]. *J Shandong Agric Univ*, 2007, **38** (2): 213 – 215.
- [21] RANA J S, SINGH D. Entomopathogenic fungi, *Verticillium lecanii* (Zimm.) as a potential bio-control agent against mustard aphid, *Lipaphis erysimi*(Kalt.) on rape-seed-mustard[J]. *Cruciferae Newsl*, 2002, **24**: 97 – 98.
- [22] 王联德, 黄建. 蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii* 次生代谢产物对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的忌避作用模型 [J]. 江西农业大学学报, 2006, **28** (2): 195 – 199.
WANG Liande, HUANG Jian. A model of the deterrent effect of secondary metabolites from *Verticillium lecanii* on *Bemisia tabaci*(Gennadius)[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2006, **28** (2): 195 – 199.
- [23] HUXHAM I M, SAMUELS K D Z, HEALE J B. In vivo and in vitro assays for pathogenicity of wild type and mutant strains of *Metarhizium anisopliae* for three insect species[J]. *Invert Pathol*, 1989, **53**: 143 – 151.
- [24] 姚剑, 李增智, 樊美珍. 虫生真菌入侵过程中酶的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1996, **23** (3): 303 – 308.
YAO Jian, LI Zengzhi, FAN Meizhen. The study on the enzyme released by entomogenous fungi during the course of infection[J]. *J Anhui Agric Univ*, 1996, **23** (3): 303 – 308.