刀孢蜡蚧菌油剂对苹果黄蚜的室内毒力测定及田间药效评价

邵云飞[1#]， 谭家玓[1#]， 李成军[2*]， 刘 苏[1]， 李世广[1]， 朱丞宇[1]，
江连强[3]， 张 鑫[4]， 李茂业[1*]

（1. 安徽农业大学植物保护学院，植物病虫害生物学与绿色防控安徽普通高校重点实验室，合肥 230036；
2. 河南省农业科学院烟草研究所，烟草行业黄淮烟区烟草病虫害绿色防控重点实验室，许昌 461000；
3. 四川省烟草公司凉山州公司，西昌 615000；4. 安徽省绩溪县农业农村水利局，宣城 245399）

摘要 苹果黄蚜 *Aphis citricola* 是为害我国苹果、海棠和红叶石楠等果树和观赏植物的重要害虫，已对多种化学农药产生抗性。本研究测定了本实验室研发的刀孢蜡蚧菌 *Lecanicillium psalliotae* YJ007 油剂对苹果黄蚜的室内毒力及田间药效。结果表明，YJ007 油剂 500 倍稀释液（4.0×10^5 孢子/mL）处理 2、3 龄和 4 龄若虫，药后 7 d 的累计校正死亡率分别为 85.17%、92.94%和 97.04%。4 龄若虫在处理后 2 d 行动迟缓，处理后 3 d，足和头部出现白色菌丝且大量幼虫死亡，最后菌丝布满试虫体表并产出大量孢子。YJ007 油剂 500 倍稀释液对苹果黄蚜 7 d 的田间校正防治效果为 86.78%。因此，YJ007 油剂在苹果黄蚜生物防治中具有极大推广应用价值。

关键词 苹果黄蚜； 刀孢蜡蚧菌； 油剂； 生物防治

中图分类号： S 482.39 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2022118

Laboratory toxicity test and field efficacy evaluation of an oil formulation of *Lecanicillium psalliotae* against *Aphis citricola*

SHAO Yunfei[1#]， TAN Jiayu[1#]， LI Chengjun[2*]， LIU Su[1]， LI Shiguang[1]， ZHU Chengyu[1]，
JIANG Lianqiang[3]， ZHANG Xin[4]， LI Maoye[1*]

（1. *Key Laboratory for Biology and Sustainable Management of Plant Diseases and Pests of Anhui Higher Education Institutes, College of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei* 230036, *China*; 2. *Key Laboratory for Green Preservation and Control of Tobacco Diseases and Pests in Huanghuai Growing Area, Tobacco Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Xuchang* 461000, *China*; 3. *Liangshan Branch of Sichuan Tobacco Corporation, Xichang* 615000, *China*; 4. *Jixi Bureau of Agriculture, Rural Affairs and Water Resources, Anhui Province, Xuancheng* 245399, *China*）

Abstract In China, the spiraea aphid (*Aphis citricola*) is an important insect pest of fruit trees and ornamental plants, such as apple, crabapple and photinia. The insect pest has developed resistance to various chemical insecticides. In this paper, the laboratory toxicity and field efficacy of YJ007, an oil formulation of *Lecanicillium psalliotae* developed in our laboratory, against *A. citricola* was investigated. The results showed that the cumulative corrected mortality of the 2nd-, 3rd-, and 4th-instar nymphs treated with 500-fold YJ007 dilution (4.0×10^5 conidia/mL) were 85.17%, 92.94%, and 97.04% seven days after treatment, respectively. The movement of tested the 4th-instar nymphs was slowed down two days after spraying with YJ007 oil formulation, then white hyphae appeared in the foot and head of the nymphs three days after spraying, and a large number of treated aphids died. Finally, the hyphae covered the surface of the insects and produced a great number of spores. In the

收稿日期： 2022-03-04 **修订日期：** 2022-05-27
基金项目： 安徽省教育厅优秀青年人才支持计划(gxyq2021167)；国家级大学生创新创业训练计划(202110364084X)；烟草绿色植保创新团队项目(2022TD26)；中国烟草总公司四川省公司重点科技项目(SCYC202112)
* 通信作者 E-mail：李成军 56397944@qq.com；李茂业 limaoye81@ahau.edu.cn
# 为并列第一作者

field experiment, the corrected control efficacy of YJ007 oil formulation on aphids was 86.78% seven days after treatment. Taken together, YJ007 oil formulation has a great application value for the biological control of *A. citricola*.

Key words *Aphis citricola*; *Lecanicillium psalliotae*; oil formulation; biological control

苹果黄蚜 *Aphis citricola* 属半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae，主要以成虫、若虫在苹果、海棠、红叶石楠 *Photinia serrati folia* 等蔷薇科植物的新梢嫩叶背面聚集，刺吸叶片汁液[1-2]。被苹果黄蚜取食为害的叶片向背面卷曲皱缩，植株的生长受到抑制[3-4]，受害严重时植株死亡[5-6]。

苹果黄蚜具有繁殖力强、世代短等特点。化学防治是当前控制苹果黄蚜为害的主要方法[7]。由于长时间高剂量地使用化学农药，苹果黄蚜对常用杀虫剂产生了不同程度的抗性[8-9]。随着人们对绿色、健康食品需求的增加，苹果黄蚜的防治策略需要逐步转变为以生物防治为核心的综合治理。研究者对昆虫病原真菌防治害虫进行了深入研究，并将昆虫病原真菌应用于多种刺吸式口器害虫的防治中[10-11]。例如利用球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 防治烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和桃蚜 *Myzus persicae*[12-14]，利用长孢蜡蚧菌 *Lecanicillium longisporum* 防治豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*[15]，利用黄绿绿僵菌 *Metarhizium flavoviride* 防治烟粉虱[16]。虽然昆虫病原真菌对害虫具有较高的致病力和较强的专一性，但是真菌在田间使用时容易受到光照、温度、湿度等因素限制，使其防治效果无法得到保证[17-18]。

将真菌孢子与助剂结合能够提高其稳定性，并且能够延长菌剂的持效期[19]。真菌分生孢子在油类物质中能够较长时间保持活性，因此油剂是能够较长时间维持微生物活性的剂型种类[20]。此外，油类介质能够提高真菌孢子的黏着度，增加孢子在昆虫体表的附着量。研究表明，金龟子绿僵菌 *M. anisopliae* 油剂对萧氏松茎象 *Hylobitelus xiaoi* 和李氏大足蝗 *Aeropus licenti* 具有高毒力[21-22]，球孢白僵菌油剂对马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 具有显著防效[23]。

本课题组前期筛选获得了一株导致桃蚜 7 d 累计死亡率高达 94.17%的刀孢蜡蚧菌 *Lecanicillium psalliotae* HFLP006 菌株[24]，对该菌株的培养条件进行了优化[25]，并基于该菌株初步研制了 YJ007 油剂(未发表)。本研究评价了 YJ007 油剂对苹果黄蚜不同龄期若虫室内毒力以及田间防效，分析了真菌孢子浓度与油剂致病力的关系，并观察了 YJ007 油剂对苹果黄蚜的侵染过程，以期为应用 YJ007 油剂防治苹果黄蚜提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试 YJ007 油剂由本实验室研制，主要成分包括 HFLP006 菌株[24]与抗氧化剂、紫外保护剂、稳定剂、乳化剂等助剂。

苹果黄蚜采自安徽省合肥市蜀山区安徽农业大学农萃园。试虫在人工气候培养室内的红叶石楠上培养繁殖 10 代以上。为获得相同龄期和体态大小一致的苹果黄蚜若虫，用软毛刷轻轻挑取大量成蚜移到新鲜红叶石楠嫩叶背面，6 h 后成蚜孤雌生殖产生若蚜，将成蚜移回原先所在植株，将附着若蚜的红叶石楠放置于 25℃恒温箱中，待苹果黄蚜发育至相应龄期后，用软毛刷挑取 2、3、4 龄若虫进行试验。

1.2 方法

1.2.1 室内毒力测定

采用喷雾法[26]进行室内毒力测定。在预试验的基础上，将 YJ007 油剂分别用无菌水稀释 500 倍(4.0×10^5 孢子/mL)、800 倍(2.5×10^5 孢子/mL)和 1 000 倍(2.0×10^5 孢子/mL)。采集试验田中没有喷施过化学药剂的新鲜红叶石楠叶片，用 75%乙醇消毒，无菌水冲洗后自然风干。使用湿润的灭菌脱脂棉球包住叶柄基部，然后将叶片背面朝上放置于铺有湿润滤纸的 90 mm 培养皿内。用毛笔尖轻轻地把 2、3、4 龄若虫转移到红叶石楠叶片背面，每个培养皿 30 头，随后使用小型喷壶喷雾，每次施药量控制为 1 mL，施药完成后用透明保鲜膜封好，用昆虫针在保鲜膜上扎 20 个孔。每处理 3 次重复，以无菌水为空白对照。处理后将培养皿置于温度(25±1)℃，相对湿度(85±3)%，光周期 L//D=16 h//8 h 的人工气候箱中。每天记录死亡虫数，连续观察 7 d，用毛笔尖轻触虫体，足、触角均无任何反应则计为死亡，将死虫取出后保湿培养，使用体视显微镜

(SZX12 型，北京京百卓显科技有限公司)观察，若试虫体表长出菌丝，确定是真菌侵染致死。

1.2.2 田间药效试验

田间药效试验在安徽省合肥市安徽农业大学农萃园红叶石楠种植区进行。试验田地势平坦，土壤肥力中等，试验前 30 d 未喷施过任何药剂。试验共设置 4 个处理，分别为 YJ007 油剂 500 倍稀释液(4.0×10^5 孢子/mL)、800 倍稀释液(2.5×10^5 孢子/mL)、1 000 倍稀释液(2.0×10^5 孢子/mL)以及清水对照。每处理设 3 次重复，共 12 个小区。每小区面积约 4 m^2，种有 32 株红叶石楠。各试验小区之间相隔约 6 m。采用 16 L 背负式手动喷雾器进行整株喷雾处理，叶片正反面均匀喷雾。施药之前，每小区 5 点取样，每点固定 3 株，每株固定 3 片叶，调查苹果黄蚜虫口基数。施药后，连续 7 d 调查各处理活虫数，计算虫口减退率以及校正防治效果。

1.3 数据分析

用 WPS Office 2019 软件整理数据并计算校正死亡率、虫口减退率和校正防治效果。使用 DPS 7.05 软件进行数据统计分析，计算毒力回归方程、致死中时间(LT_{50})以及 95%置信区间，并采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

校正死亡率＝(处理组死亡率－对照组死亡率)/(1－对照组死亡率)×100%；

虫口减退率＝(药前虫口基数－药后活虫数)/药前虫口基数×100%；

校正防治效果＝[(处理虫口减退率－空白对照虫口减退率)/(1－空白对照虫口减退率)]×100%。

2 结果与分析

2.1 刀孢蜡蚧菌 YJ007 油剂对苹果黄蚜的室内毒力

YJ007 油剂对 3 个龄期苹果黄蚜的毒力均随着油剂浓度增加以及用药时间的延长而提高。不同浓度的 YJ007 油剂处理后，3 个龄期若蚜 7 d 累计校正死亡率存在显著差异(2 龄：$F_{2,6}=12.56$，$P<0.05$；3 龄：$F_{2,6}=14.87$，$P<0.05$；4 龄：$F_{2,6}=10.00$，$P<0.05$)。其中 YJ007 油剂对 4 龄若虫致病力最高，其 500、800 倍和 1 000 倍稀释液处理后 7 d，4 龄若虫的累计校正死亡率分别为 97.04%、91.17%和 83.98%，LT_{50}分别为 3.01、3.30 d 和 3.62 d(表 1)；3 龄若虫 7 d 的累计校正死亡率均在 81.64%以上，LT_{50}最小为 3.18 d(表 1)；对 2 龄若虫致病力相对较低，7 d 的累计校正死亡率在 69.00%以上，LT_{50}最小为 3.68 d(表 1)。YJ007 油剂对 3 个龄期苹果黄蚜若虫的室内毒力排序为：4 龄若虫＞3 龄若虫＞2 龄若虫。

表 1　刀孢蜡蚧菌 YJ007 油剂对苹果黄蚜不同龄期若虫的室内毒力1)

Table 1　Laboratory toxicity of *Lecanicillium psalliotae* YJ007 oil formulation against different instar nymphs of *Aphis citricola*

若虫龄期 Instar of nymph	YJ007 稀释倍数/倍 Dilution fold of YJ007	斜率±标准误 Slope±SE	累计校正死亡率/% Corrected accumulative mortality	LT_{50}/d	95%置信区间 95% confidence interval	χ^2 ($df=5$)
2 龄　2nd-instar	500	4.73±0.60	(85.17±0.02)a	3.68	3.323 1～4.120 7	2.81
	800	4.57±0.60	(79.78±0.04)a	3.94	3.547 9～4.467 9	3.59
	1 000	4.09±0.57	(69.00±0.06)b	4.28	3.809 1～5.006 6	4.72
3 龄　3rd-instar	500	5.47±0.67	(92.94±0.03)a	3.18	2.865 8～3.499 0	7.07
	800	5.05±0.63	(88.77±0.02)a	3.49	3.158 4～3.870 2	3.41
	1 000	4.77±0.61	(81.64±0.03)b	3.79	3.426 0～4.257 5	2.54
4 龄　4th-instar	500	6.04±0.74	(97.04±0.03)a	3.01	2.707 7～3.304 5	8.07
	800	5.37±0.66	(91.17±0.04)a	3.30	2.988 3～3.640 9	3.58
	1 000	4.87±0.62	(83.98±0.03)b	3.62	3.274 7～4.038 0	2.90

1) 累计校正死亡率为处理后 7 d 的结果。同列数据后不同小写字母表示同一龄期 3 个不同浓度处理经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平上差异显著。

Corrected accumulative mortality is the results of seven days after treatment. Different lowercase letters after the data in the same column indicate that three different concentrations at the same age are significantly different at 0.05 level based on Duncan's new multiple range test.

利用体视显微镜观察 YJ007 油剂对苹果黄蚜 4 龄若虫的侵染过程，结果显示，500 倍稀释液处理后 2 d，试虫行动迟缓，胸部逐渐变为赤褐色，腹部出现褐色斑点，处理后 3 d，试虫足和头部出现少量白色菌丝，胸部和腹部变为黑褐色，此时蚜虫大量死亡，之后白色菌丝布满虫体并产生大量孢子(图 1)。

2.2 刀孢蜡蚧菌油剂对苹果黄蚜的田间防治效果

田间药效试验结果(表 2)表明，YJ007 油剂 500、800 倍和 1 000 倍稀释液对田间苹果黄蚜均具有一定的防治效果，3 d 校正防治效果均可达到 31%以上，5 d 均可达到 59%以上。不同浓度的 YJ007 对田间苹果黄蚜 7 d 校正防治效果存在显著差异($F_{2,6}=41.72$，$P<0.05$)，其中 500 倍稀释液(4.0×10^5 孢子/mL)的校正防效(86.78%)显著高于其他两个处理，且致死速率最快；800 倍稀释液(2.5×10^5 孢子/mL)校正防效为 80.00%；1 000 倍稀释液(2.0×10^5 孢子/mL)时田间校正防效最差，仅为 64.10%，致死速率最慢。



a~d: 处理后1、3、5 d和7 d。
a-d: 1, 3, 5 and 7 days after treatment, respectively.

图 1 刀孢蜡蚧菌 YJ007 油剂处理后苹果黄蚜体表症状

Fig. 1 Symptoms of the body surface of *Aphis citricola* after treatment with *Lecanicillium psalliotae* YJ007 oil formulation

表 2 刀孢蜡蚧菌 YJ007 油剂对苹果黄蚜的田间防效[1)]

Table 2 Field control efficacy of *Lecanicillium psalliotae* YJ007 oil formulation against *Aphis citricola*

YJ007 稀释倍数/倍 Dilution fold of YJ007	虫口基数/头·株$^{-1}$ Initial population size	药后 3 d 3 d after application		药后 5 d 5 d after application		药后 7 d 7 d after application	
		虫口数/头·株$^{-1}$ Number of insects	校正防效/% Corrected control efficacy	虫口数/头·株$^{-1}$ Number of insects	校正防效/% Corrected control efficacy	虫口数/头·株$^{-1}$ Number of insects	校正防效/% Corrected control efficacy
500	426	281	(38.52±0.04)a	112	(76.77±0.02)a	68	(86.78±0.02)a
800	468	326	(35.07±0.05)a	155	(70.75±0.03)b	113	(80.00±0.04)b
1 000	459	336	(31.77±0.04)a	209	(59.79±0.04)c	199	(64.10±0.03)c
CK	453	486	—	513	—	547	—

1) 表中数据为平均值±标准差。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平上差异显著。
Data in the table are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level based on Duncan's new multiple range test.

3 结论与讨论

本研究评价了刀孢蜡蚧菌 YJ007 油剂对苹果黄蚜的防治效果。YJ007 是基于本实验室分离的刀孢蜡蚧菌 HFLP006 菌株而研制的真菌制剂。HFLP006 菌株分离于自然感病的桃蚜僵虫，对桃蚜具有很强致病力且易于大规模发酵生产[25]，适合开发为真菌杀虫剂。真菌杀虫剂能够提高真菌孢子对害虫的致病力，当前已有多种真菌杀虫剂被报道。徐文静等[27]研究了球孢白僵菌可湿性粉剂防治亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*。武海峰等[28]论述了白僵菌悬乳剂研制及其对玉米螟的防治效果。农向群等[29]综述了绿僵菌属 *Metarhizium* 真菌可湿性粉剂、颗粒剂、粉剂等剂型的主要特点。目前，关于刀孢蜡蚧菌剂型尚未见报道。另一方面，YJ007 对其他种类蚜虫是否具有防治效果，也需要进一步研究。

当前真菌杀虫剂的剂型有水分散粒剂、粉剂、颗粒剂、油剂等。其中，油剂不仅能改善真菌孢子对自然界不利环境的适应性，而且还有利于孢子吸附于昆虫体表的疏水基质，增加对靶标害虫的毒力[21]，因而将真菌制成油剂更具有开发应用价值。近年来，真菌油剂被广泛应用于防治各类害虫。雷仲仁等[30]利用绿僵菌油剂防治东亚飞蝗 *Locusta migra-*

toria manilensis 的田间试验表明，绿僵菌油剂处理后 6～9 d 飞蝗数量显著减少，第 18 天虫口减退率可达 81.1%。谷祖敏等[18]优化了蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii* VL17 油剂配方，其在室内对桃蚜和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 的致死率超过 85%。罗成等[31]研究了球孢白僵菌油剂对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的防效，发现施用后 7 d 斜纹夜蛾 2 龄幼虫累计死亡率达 76.7%。本试验结果表明，YJ007 油剂对苹果黄蚜具有较高毒力，其 500 倍稀释液(4.0×10^5 孢子/mL)对苹果黄蚜 4 龄若虫室内 7 d 累计校正死亡率达 97.04%，LT_{50}为 3.01 d，而 2 龄和 3 龄若虫 7 d 累计校正死亡率反而较低，分别为 85.17%和 92.94%(表 1)。这可能是由于 4 龄若虫蜕皮时间间隔较长，在蜕皮之前真菌分生孢子已经侵入试虫体腔。而 2 龄若虫蜕皮时间间隔较短，真菌分生孢子在侵入前即随着试虫蜕皮而脱离虫体。刘银泉等[32]也发现桃蚜若蚜蜕皮可有效摆脱球孢白僵菌分生孢子的侵染。本试验观察到 YJ007 油剂处理苹果黄蚜后 2 d，4 龄若虫行动迟缓，3 d 后足、头部长出少量菌丝并且腹部出现褐色斑点(图 1)。这可能是由于真菌菌丝首先侵入昆虫足和头部，菌丝逐渐向外生长的同时侵入试虫体表并在体内增殖所致。随着真菌在虫体内的繁殖，虫体逐渐变褐并皱缩干瘪，体表长出大量菌丝并产生孢子(图 1)，这可能是真菌大量增殖并快速吸收试虫体内营养物质而产生的现象。

综上所述，基于刀孢蜡蚧菌 HFLP006 菌株制成的 YJ007 油剂在室内和田间对苹果黄蚜均有致病力强、作用时间短等优势，具有极大的田间推广应用潜力。需要指出的是，本研究只探讨了 YJ007 油剂对苹果黄蚜的防治效果，未研究该油剂对田间害虫的持续控制效果。在后续试验中，我们将对此开展深入研究，为利用 YJ007 油剂防治苹果黄蚜奠定基础。

参考文献

[1] LI Litao, HE Limin, YU Lichen, et al. Preliminary study on the potential of *Pyemotes zhonghuajia* (Acari: Pyemotidae) in biological control of *Aphis citricola* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Systematic and Applied Acarology, 2019, 24(6): 1116－1120.

[2] 封云涛，郭晓君，李娅，等. 3 种新型杀虫剂对苹果黄蚜的毒力效果评价[J]. 植物保护，2022，48(1)：334－337.

[3] SONG Beizhou, TANG Guangbo, SANG Xusheng, et al. Intercropping with aromatic plants hindered the occurrence of *Aphis citricola* in an apple orchard system by shifting predator-prey abundances [J]. Biocontrol Science and Technology, 2013, 23(4): 381－395.

[4] 宫庆涛，武海斌，郭腾达，等. 苹果黄蚜防治药剂筛选及天敌安全性评价[J]. 农药，2019，58(1)：70－72.

[5] YAN He, XIE Na, ZHONG Chenquan, et al. Aphicidal activities of Amaryllidaceae alkaloids from bulbs of *Lycoris radiata* against *Aphis citricola* [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 123: 372－378.

[6] 李振西，李子豪，刘政源，等. 金合欢醇和烟碱对苹果黄蚜联合毒杀作用[J]. 中国生物防治学报，2019，35(1)：37－43.

[7] 封云涛，郭晓君，李娅，等. 三种助剂在减量化防治苹果黄蚜中的应用研究[J]. 果树学报，2020，37(3)：397－403.

[8] LI Yong, XU Zhifeng, SHI Li, et al. Insecticide resistance monitoring and metabolic mechanism study of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), in Chongqing, China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2016, 132: 21－28.

[9] 封云涛，李娅，郭晓君，等. 不同地区苹果黄蚜对 3 种常用药剂的敏感性[J]. 中国果树，2021(6)：24－26.

[10] 王艳秋，周婷婷，林华峰，等. 球孢白僵菌 Bb84 对 Q 型烟粉虱的时间-剂量-死亡率模型分析[J]. 农药学学报，2016，18(4)：459－464.

[11] MASCARIN G M, KOBORI N N, QUINTELA E D, et al. The virulence of entomopathogenic fungi against *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) and their conidial production using solid substrate fermentation [J]. Biological Control, 2013, 66(3): 209－218.

[12] ISLAM M T, CASTLE S J, REN S X. Compatibility of the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana* with neem against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, on eggplant [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 134(1): 28－34.

[13] KEERIO A U, NAZIR T, ABDULLE Y A, et al. *In vitro* pathogenicity of the fungi *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium lecanii* at different temperatures against the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2020, 30(1): 479－485.

[14] 田佳，汝冰璐，王颖，等. 一株对桃蚜有高致病性球孢白僵菌的分离、筛选与鉴定[J]. 植物保护学报，2018，45(3)：606－613.

[15] 张挺峰，王睿，刘长仲. 一株侵染豌豆蚜的昆虫病原真菌的分离及鉴定[J]. 昆虫学报，2020，63(1)：22－28.

[16] 李茂业，陈德鑫，林华峰，等. 黄绿绿僵菌悬乳剂与低剂量阿维菌素对 Q 型烟粉虱的联合防治作用[J]. 中国农业科学，2016，49(13)：2553－2560.

[17] 王海鸿，刘胜，王帅宇，等. 150 亿孢子/g 球孢白僵菌可湿性粉剂的研发及对西花蓟马的防治应用[J]. 中国生物防治学报，2020，36(6)：858－861.

(下转 352 页)

-127.
[4] 虞国跃，王合. 北京林业昆虫图谱(I)[M]. 北京：科学出版社，2018：8-9.
[5] 虞国跃，王合，王长月，等. 中国新外来害虫—洋白蜡卷叶绵蚜 *Prociphilus fraxinifolii* [J]. 昆虫学报，2015，58(4)：467-470.
[6] 薛正，冯术快，张崇岭，等. 北京发现洋白蜡新害虫—多孔横沟象 *Pimelocerus perforatus* (Roelofs)[J]. 植物保护，2018，44(6)：242-245.
[7] PASCOE F P. Contributions towards a knowledge of the Curculionidae. Part Ⅲ [J]. Journal of the Linnaean Society of London，Zoology，1872，11(55)：440-492.
[8] 赵养昌，陈元清. 中国经济昆虫志第二十册鞘翅目象虫科(一)[M]. 北京：科学出版社，1980：147.
[9] HAYASHI M，MORIMOTO K，KIMOTO S. The Coleoptera of Japan in Color Vol. Ⅳ [M]. Osaka：Hoikusha Publishing Co.，Ltd.，1984：334-335.
[10] HONG K J，PARK S，HAN K. Insect fauna of Korea. Volume 12，Number 2. Arthropoda：Insecta：Coleoptera：Curculionidae：Bagoninae，Baridinae，Ceutorhynchinae，Conoderinae，Cryptorhynchinae，Molytinae，Orobitidinae Weevils I [M]. Incheon：National Institute of Biological Resources，2011：211-212.
[11] LÖBL I，SMETANA A. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Volume 8 [M]// ALONSO-ZARAZAGA M A. Molytinae. Leiden：Brill，2013：475-497.
[12] FAIRMAIRE L. Coléoptères de l'intérieur de la Chine. 5. Partie [J]. Annales de la Société Entomologique de France，1889，9(6)：5-84.
[13] FAIRMAIRE L. Descriptions de Coléoptères nouveaux recueillis en Chine Par M. de Latouche [J]. Annale de la Société Entomologique de France，1900：616-643.
[14] KÔNO H. Elf neue Curculioniden aus Japan und Formosa [J]. Insecta Matsumurana，1932，6(4)：179-183.
[15] LACOEDAIR T. Histoire naturelle des insectes. Genera des Coléoptères ou exposé méthodique et critique de tous les genres proposés jusqu'ici dans cet ordre d'insectes. Tome septième contenant les familles des Curculionides (suite)，Scolytides，Brenthides，Anthribides et Bruchides [M]. Paris：A La Librairie Encyclopédique de Roret，1866：53-54.
[16] 樊美珍，郭超，王成祥，等. 宽肩象的初步研究[J]. 经济林研究，1985，3(1)：54-60.
[17] 周嘉熹. 宽肩象 *Ectatorrhinus adamsi* Pascoe [M]// 萧刚柔. 中国森林昆虫. 2版，北京：中国林业出版社，1992：588-589.
[18] 段均团，彭贵禄. 宽肩象的生物学特性及防治[J]. 昆虫知识，1996，33(3)：276-277.
[19] Biosecurity Australia. Provisional final import risk analysis report for fresh mango fruit from India [R]. Canberra：Biosecurity Australia，2008.
[20] 虞国跃. 北京甲虫生态图谱[M]. 北京：科学出版社，2020：338-372.
[21] 赵同海，赵文霞，高瑞桐，等. 外来树种对本地林业虫害的诱发作用[J]. 昆虫学报，2007，50(8)：826-833.
[22] 张志翔. 树木学(北方版)[M]. 2版. 北京：中国林业出版社，2008：392.
[23] 孙天旭. 外来种火炬树的入侵生物学特性研究[D]. 泰安：山东农业大学，2008.
[24] 任媛. 沟眶象裙摆式捕获装置改进及成虫肠道纤维素酶比较[D]. 北京：北京林业大学，2017.

（责任编辑：田 喆）

(上接309页)

[18] 谷祖敏，周飞，陈思，等. 蜡蚧轮枝菌 VL17 油剂配方筛选及室内毒力评价[J]. 农药，2013，52(5)：337-339.
[19] 朱海霞，马永强. 内生菌 HL-1 可湿性粉剂研制及其除草活性评价[J]. 草地学报，2019，27(5)：1301-1308.
[20] 孙明，王晓燕，罗建勋. 硬蜱生防真菌制剂的研究及应用[J]. 微生物学报，2012，52(8)：948-953.
[21] 童应华，陈顺立，林强. 绿僵菌超低容量油剂防治萧氏松茎象试验研究[J]. 福建林学院学报，2009，29(1)：33-36.
[22] 王俊梅，豆卫，谭成虎，等. 绿缰菌复合油剂对草原蝗虫的防治试验[J]. 草业科学，2009，26(10)：155-159.
[23] 王滨，李农昌，樊美珍，等. 白僵菌油剂与溴氰菊酯混合超低量喷雾防治马尾松毛虫[J]. 中国森林病虫，2003，22(3)：15-18.
[24] 刘明科，闫芳芳，齐禹哲，等. 对桃蚜高毒力的蜡蚧菌菌株筛选[J]. 昆虫学报，2020，63(6)：751-758.
[25] 黄岩，李茂业，刘苏，等. 一株高毒力刀孢蜡蚧菌最适培养条件的优化及其对桃蚜的毒力测定[J]. 中国生物防治学报，2021，37(2)：349-355.
[26] 孟豪，田晶，付淑慧，等. 玫烟色棒束孢与球孢白僵菌对桃蚜致病力对比[J]. 植物保护学报，2014，41(6)：717-722.
[27] 徐文静，隋丽，高鹏，等. 球孢白僵菌可湿性粉剂防治玉米螟的研究与应用[J]. 中国生物防治学报，2020，36(6)：862-865.
[28] 武海峰，解娇，张正坤，等. 白僵菌悬乳剂研制及其对玉米螟防治研究[J]. 玉米科学，2014，22(4)：140-146.
[29] 农向群，张英财，王以燕. 国内外杀虫绿僵菌制剂的登记现状与剂型技术进展[J]. 植物保护学报，2015，42(5)：702-714.
[30] 雷仲仁，问锦曾，谭正华，等. 绿僵菌油剂防治东亚飞蝗田间试验[J]. 植物保护，2003，29(1)：17-19.
[31] 罗成，应盛华，冯明光. 球孢白僵菌对斜纹夜蛾高毒菌株筛选与制剂的研发[J]. 中国生物防治学报，2011，27(2)：188-196.
[32] 刘银泉，张发成，刘树生. 桃蚜脱皮对球孢白僵菌毒力的影响[J]. 昆虫学报，2003，46(4)：441-446.

（责任编辑：田 喆）