白星花金龟病原菌的分离鉴定及防治药剂筛选*

吴 娱** 刘春琴 冯晓洁 刘福顺 张 悦 时荣荣
寇俊凤 吕彩璐 王庆雷***
（沧州市农林科学院，河北省土壤昆虫学重点实验室，沧州 061001）

摘 要 **【目的】** 分离鉴定造成白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 死亡的病原菌，研究防治手段，为有效利用资源昆虫白星花金龟提供理论依据。**【方法】** 平板培养法分离纯化白星花金龟病虫虫体上的病原菌，采用生物测定法，测定分离菌株的致病力，并依据形态学和分子生物学鉴定手段对分离得到的病原菌进行物种鉴定。将分离到的菌株接种到白星花金龟饲养基料中，选取 7 种化学农药进行药剂筛选试验，设置不接菌+药剂、接菌+药剂、接菌发病后+药剂 3 组不同处理，调查幼虫死亡率和体重增长率。**【结果】** 经分离鉴定，该菌为金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*。人工接种病原菌 14 d 后白星花金龟 1 龄、2 龄、3 龄幼虫的死亡率分别为 100.00%、91.67%、76.00%。药剂筛选试验结果显示 20%三唑酮乳油效果最好，死亡率仅为 12.22% ± 2.22%，较对照降低了 62%的死亡率。**【结论】** 在养虫基料中添加 20%三唑酮乳油可有效预防幼虫发病，幼虫发病后再添加药剂效果较差。本研究为白星花金龟人工繁殖提供了理论研究数据和技术支持。

关键词 白星花金龟；人工养殖；绿僵菌；幼虫死亡率；体重增长率

Isolation, identification and chemical control of a fungus pathogenic to *Protaetia brevitarsis*

WU Yu** LIU Qun-Qin FENG Xiao-Jie LIU Fu-Shun ZHANG Yue SHI Rong-Rong
KOU Jun-Feng LÜ Cai-Lu WANG Qing-Lei***
(Hebei Key Laboratory of Soil Entomology, Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Cangzhou 061001, China)

Abstract **[Aim]** Isolate and identify the fungus pathogenic that cause the death of *Protaetia brevitarsis*, and develop methods to reduce mortality during the artificial rearing of this species. **[Methods]** A pathogenic fungal strain was isolated and purified using the plate culture method. Bioassays were used to determine the pathogenicity of the isolated strain, which was identified using morphological and molecular biological identification methods. The isolated strain was inoculated into feed provided to *P. brevitarsis*, and the effectiveness of 7 chemical fungicidesat suppressing fungal growth were evaluated. Three different treatments were set up: No fungi + fungicide, fungi + fungicide, and fungal infection + fungicide. The mortality and growth rate of the larvae under each treatment were measured and compared. **[Results]** The pathogenic fungal strain was identified as *Metarhizium anisopliae*. Mortality rate of the 1st, 2nd and 3rd instars was 100.00%, 91.67% and 76.00%, respectively, 14 days after inoculation. The most effective treatment was 20% triadimefonemulsifiable concentrate, which reduced mortality tojust 12.22%±2.22%; a 62% reduction compared to the control. **[Conclusion]** Adding 20% triadimefonemulsifiable concentrate to the diet of captive *P. brevitarsis* effectively preventedfungal infection, but was not very effective at reducing mortality onceinfection had occurred.

Key words *Protaetia brevitarsis*; artificial breeding; *Metarhizium anisopliae*; larvae mortality; weight growth rate

*资助项目 Supported project：河北省土壤昆虫学重点实验室（SZX2021022）
**第一作者 First author，E-mail：wyufish777@163.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wqlei02@163.com
收稿日期 Received：2025-07-03；接受日期 Accepted：2025-11-21

白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 属鞘翅目 Coleoptera 金龟科 Scarabaeidae 花金龟亚科 Cetoniidae，主要分布在中国、俄罗斯、朝鲜、韩国、日本等国家（嵇保中等，2011）。其成虫是一种常见的农业害虫，危害农作物、瓜果的叶、花和果实（陈日曌等，2006）。近年来，人们对白星花金龟有了新的认识，其幼虫为腐食性（郑洪源等，2005），可作为一种资源昆虫来开发和利用。

白星花金龟幼虫可取食玉米秸秆、沼渣、平菇菌菌糠、畜禽粪便等多种农业有机废弃物（杨柳等，2020）。幼虫产生的虫粪是一种富含腐殖酸（Li *et al*，2019）的生物有机肥。有研究表明白星花金龟虫粪对可显著提高樱桃萝卜的产量（刘福顺等，2018），育苗基质中添加虫粪可提高辣椒幼苗的生物量和耐寒能力（赖德强等，2019），虫粪能显著促进辣椒和生菜的早期生长（Joung *et al*，2022），虫粪可显著提高黄芪等药材的生物量（周诗玉等，2024）。白星花金龟幼虫虫体富含蛋白质、脂质和多种微量营养素（Ham *et al*，2021），本身可作为药材和饲料利用（Hawkey *et al*，2021；Nikkaha *et al*，2021），我国《本草纲目》中记载，白星花金龟幼虫“主治目中淫肤，青翳白膜，取汁滴目，去翳障”。国内外众多学者的研究表明，白星花金龟幼虫的提取物对肺癌细胞、人宫颈癌细胞、小鼠肝癌细胞和胃癌细胞具有较显著的抑制增殖作用（宋莲莲等，2006；杨万山等，2006；金龙男等，2008）。由此可见，白星花金龟是一种十分具有开发利用潜力的昆虫资源。

开发利用白星花金龟资源，保障稳定可控的虫源供应是根本前提，而实现其人工饲养与规模化繁殖则是其中的重中之重。在白星花金龟人工饲养过程中，病害时常发生，严重时幼虫死亡率可达 98%。感染初期虫体僵硬，体表被白色菌丝，后期变为绿色，疑似绿僵菌感染，多项研究表明白星花金龟感染绿僵菌具有强致病性（刘玉升等，2011；蒋雯等，2014），但针对白星花金龟养殖中该问题的解决方案相关研究报道较少。本研究通过分离鉴定病虫上的病原菌，并选用 7 种对绿僵菌具有抑制作用的市售低毒农药（张英财等，2012），通过农药对绿僵菌抑制作用以及对白星花金龟生长发育影响的试验，旨在筛选出可以控制绿僵菌对白星花金龟侵染致死的药剂，解决在白星花金龟人工饲养中出现的问题。

1 材料与方法

1.1 试验材料

白星花金龟幼虫病虫；白星花金龟 1-3 龄健康幼虫由沧州市农林科学院饲养；粉碎的玉米秸秆；7 种市售化学农药（表 1）；养虫盒尺寸为 34 cm × 26 cm × 12 cm（长 × 宽 × 高）；DNA 提取试剂盒；通用引物 ITS1 和 ITS4。

1.2 试验仪器和设备

RQH-50/RQH-250 人工气候箱，常州市科迈实验仪器有限公司生产；TR-6 土壤温湿度仪，北京顺科达科技有限公司生产；ETC-811 基因扩增仪，东胜公司。

1.3 病原菌的分离

挑取病虫体表的菌丝，接种于 PDA 培养基上，经过多次分离纯化培养，获得一株纯化菌株，保存菌种。扩繁，收集孢子粉备用。

1.4 病原菌致病力测定

选取健康的 1-3 龄幼虫进行生物测定试验。将病原菌的孢子粉用灭菌的 0.5%的 Tween80 配制成 10^8 孢子/mL 的孢悬液，采用浸虫法接种病原菌，每个龄期幼虫分别选取 12 头，3 次重复，接种后的试虫置于六孔板中，喂食土豆丝，以蘸取灭菌的 0.5%的 Tween80 的试虫为对照，置于人工培养箱（温度 26 ℃，湿度 70%，光周期 16L∶8D）中，定期更换食物。14 d 后调查幼虫感染情况，观察病症，并再次分离死虫上的病原菌。

1.5 病原菌的生物学及分子鉴定

将菌株接种于 PDA 培养基上，置于人工培养箱（温度 26 ℃，湿度 70%，光周期 16L∶8D）培养，观察记录菌落形态。待菌落开始产孢，镜

检观测菌丝宽度和分生孢子形态、大小及分生孢子梗形态等分类特征。

挑取绿僵菌菌丝接种于 PDA 培养基上，将培养后的孢子和菌丝从平板培养基上刮下，采用试剂盒（GeneMark 生物科技有限公司）提取 DNA。PCR 扩增采用 1 对真菌通用引物 ITS1 和 ITS4。引物序列为 ITS1：5′-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3′，ITS4：5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′。PCR 反应体系 49 μL：mix 25 μL，DNA 模板 1 μL，上下游引物（10 μmol/L）各 1.5 μL，dd H_2O 补足至 49 μL。PCR 反应条件为 95 ℃预变性 5 min；95 ℃变性 30 s，55 ℃退火 30 s，72 ℃延伸 30 s，共 35 个循环；最后 72 ℃延伸 10 min。PCR 扩增产物于 1%琼脂糖凝胶电泳检测。扩增产物送公司纯化和测序（上海英骏生物技术公司）。

1.6　7 种药剂对白星花金龟幼虫病害防治效果试验

将 60%多菌灵可湿性粉剂、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂、80%代森锰锌可湿性粉剂、75%百菌清可湿性粉剂、20%三唑酮乳油、50%矮壮素水剂、20%哒螨灵乳油这 7 种药剂按说明书以推荐稀释倍数稀释成药液备用。将粉碎的干燥玉米秸秆（粉碎颗粒大小为 0.25-0.50 cm）加入无菌水，配制成含水量为 70%的养虫饲料，取一部分养虫饲料接入病原菌孢子粉，接菌浓度为 10^8 孢子/kg 饲料，配好后将饲料放置 24 h，让其自然发酵。试验共设 3 组处理：

1 组：不接菌+药剂处理，将不接菌的养虫饲料中分别加入配置好的不同药液，添加比例为 300 mL/kg，以清水为对照。每个处理选 30 头 3 龄幼虫，3 次重复，放入养虫盒中饲养。

2 组：接菌+药剂处理，将接菌后的饲料中分别加入配置好的不同药液，添加比例同 1 组，以清水为对照。每个处理选 30 头 3 龄幼虫，3 次重复，放入养虫盒中饲养。

3 组：接菌发病后+药剂处理，根据之前的饲养经验，幼虫感染僵菌后去除僵虫，剩余的活虫挑取出来后依然会继续僵死，推测是虫体带菌但还未开始发病。因此该处理将试虫提前放入已接菌的养虫饲料中饲养，待发现僵死的病虫后，

表 1　供试化学药剂相关信息

Table 1　The information of chemical pesticides tested

药剂名称 Medication names	类别 Category	推荐稀释倍数 Recommend dilution	生产厂商 Manufacturers
60%多菌灵可湿性粉剂 60% Carbendazim wettable powder	苯并咪唑类杀菌剂 Benzimidazoles germicide	1 200×	新沂中兴生物科技有限公司 Xinyi Zhongxing Biochnology Co., LTD.
70%甲基硫菌灵可湿性粉剂 70% Thiophanate-methyl wettable powder	苯并咪唑类杀菌剂 Benzimidazoles germicide	1 000×	奥科科技有限公司 Aoke Technology Co., LTD.
80%代森锰锌可湿性粉剂 80% Mancozeb wettable powder	二硫代氨基甲酸盐类杀菌剂 Dithiocarbamate germicide	1 200×	新沂中兴生物科技有限公司 Xinyi Zhongxing Biochnology Co., LTD.
75%百菌清可湿性粉剂 75% Chlorothalonil wettable powder	取代苯类杀菌剂 Benzene germicide	1 000×	江阴苏利化学有限公司 Jiangyin Suli Study Co., LTD.
20%三唑酮乳油 20% Triadimefon emulsifiable concentrates	三唑类杀菌剂 Triazoles germicide	600×	河北神华药业有限公司 Hebei Shenhua Pharmaceutical Co., LTD.
50%矮壮素水剂 50% Cycocelaqueous solution	植物生长调节剂 Plant growth regulator	1 000×	青海黎化实业有限公司 Qinghai Lihua Industry Co., LTD.
20%哒螨灵乳油 20% Pyridaben emulsifiable concentrates	杂环类杀虫剂 Heterocycles insecticide	3 000×	上海沪联生物药业股份有限公司 Shanghai Hulian Biological Pharmaceutical Co., LTD.

挑取其中带菌成活的幼虫分装到养虫盒中，再加入配制好的药剂，添加比例同上，以清水为对照。每个处理选 30 头 3 龄幼虫，3 次重复。

将养虫盒置于人工气候箱中（温度 26 ℃，湿度 70%，光周期 16L∶8D，），每 3 d 调查一次幼虫死亡率并称重，共调查 18 d。

1.7 数据分析

将检测的序列在 GenBank 数据库中进行 Blast 同源性比对，利用 MEGA 7.0.26 进行聚类分析，采用邻近法（Neighbor-joining，NJ）构建系统进化树。调查的数据用 Excel 2010 计算幼虫死亡率，体重增长率，用 SPSS 17.0 进行方差分析（Duncan 氏新复极差法）。

死亡率=（死亡虫数/总虫数）×100%，

体重增长率=（测量体重–初始体重）/初始体重×100%。

2 结果与分析

2.1 病原菌的分离

经多次分离纯化，得到一株真菌，在 PDA 培养基上培养，菌落为圆形，边缘规则，呈放射状扩展。初期为白色绒状菌丝，5-7 d 后菌落中央开始产出浅绿色分生孢子堆。随着培养时间的增长，菌落不断扩大，分生孢子增多，颜色变成墨绿色。将该菌株暂命名为 LJ-1。

2.2 病原菌鉴定结果

显微镜下观察孢子为长形或柱状，孢子大小为（2.5-3.0）μm×（8.0-14.0）μm。根据蒲蛰龙和李增智（1996）描述的菌落、产孢结构和分生孢子等形态特征，该菌株与金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 相吻合（图 1：A-C）。

利用引物 ITS1 和 ITS4 对菌株 LJ-1 的 rDNA-ITS 区进行扩增，扩增目的基因片段长度为 537 bp。将该序列在 GenBank 数据库中进行 Blast 同源性比对，经比对，该序列与金龟子绿僵菌的同源性均达到 97%以上，利用 MEGA 7.0.26 进行聚类分析，采用邻近法（Neighbor-joining，NJ）构建系统进化树（图 2）。可以看出，该菌株与数据库中其他金龟子绿僵菌聚为一支。结合其形态特征、该菌株 ITS 序列与数据库中的相似性以及基于 ITS 序列的同源性分析，最终将菌株 LJ-1 鉴定为金龟子绿僵菌。

2.3 病原菌致病力测定

调查结果发现，接菌后的白星花金龟 1-3 龄幼虫均可感染。幼虫接菌 7 d 后开始出现症状，初期表现为僵虫，中期体表被白色菌丝，后期变为绿色，其症状与自然发病状态一致。14 d 后调查白星花金龟幼虫死亡率，其中 1-3 龄幼虫的校正死亡率分别为 100.00%、91.67%、76.00%。再次分离感染病虫体表病原菌，与之前菌落形态一致。

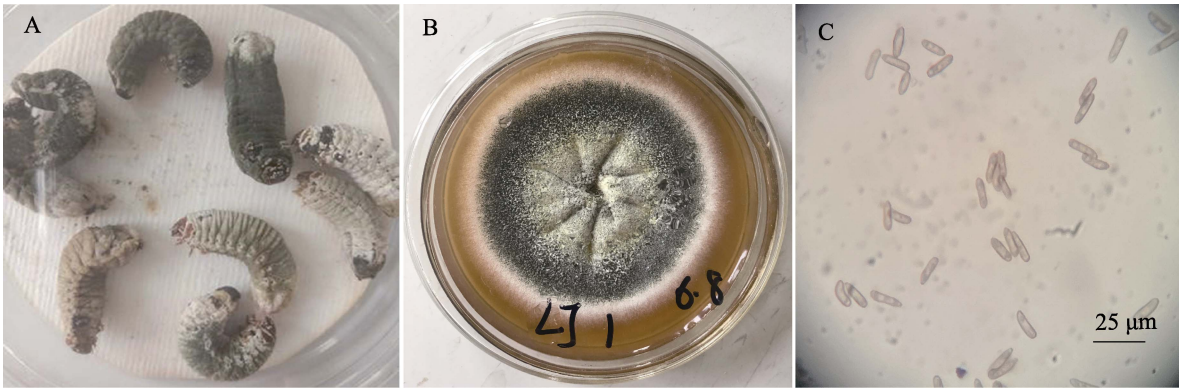


图 1 感染 LJ-1 的白星花金龟幼虫、菌落形态及分生孢子形态

Fig. 1 *Protaetia brevitarsis* larvae infected by LJ-1, colony and conidium morphology

A. 被 LJ-1 感染的白星花金龟幼虫形态；B. 菌株 LJ-1 在 PDA 培养基上的形态；C. LJ-1 的分生孢子形态。

A. The morphological characteristics of LJ-1 strain infected larva of *P. brevitarsis*

B. The colony morphology on PDA medium of LJ-1; C. Spore morphology of LJ-1.

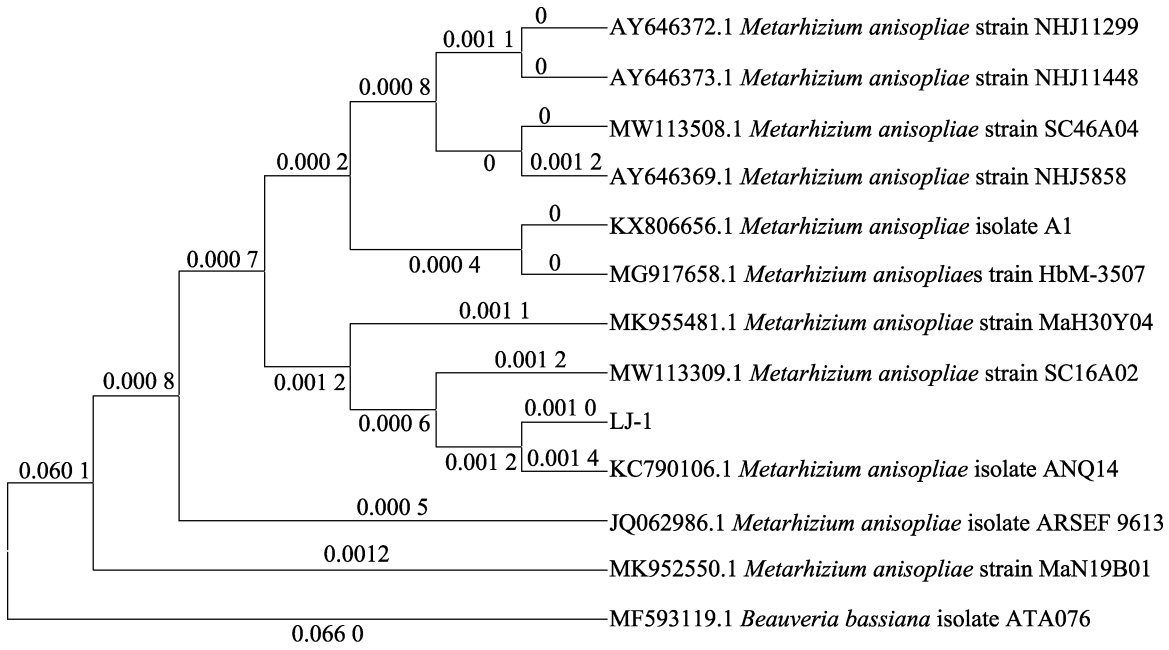


图 2　采用邻近法构建菌株 LJ-1 的序列系统发育树

Fig. 2　Phylogenetic tree analysis of strain LJ-1 constructed by neighbor-joining method

2.4　7 种药剂对白星花金龟幼虫病害防治效果

从表 2 可以看出，第 1 组处理中 80%代森锰锌可湿性粉剂和 75%百菌清可湿性粉剂的幼虫死亡率显著高于对照（P<0.05），其余药剂的幼虫死亡率和对照无显著性差异（P>0.05）。各药剂处理的幼虫体重增长率和对照无显著性差异（P>0.05），其中添加 20%哒螨灵乳油的幼虫体重增长率最低为 50.18% ± 7.25%，添加 20%三唑酮乳油的幼虫体重增长率最高为 84.72% ± 6.17%。

第 2 组处理中，添加 60%多菌灵可湿性粉剂、20%三唑酮乳油、50%矮壮素水剂、20%哒螨灵乳油 4 个药剂的幼虫死亡率显著低于对照（P<0.05），其中 20%三唑酮乳油和 50%矮壮素水剂死亡率最低为 12.22% ± 2.22%和 12.22% ± 2.94%，较对照降低了 62%。这 4 种药剂防治效果显著，同时表明在带菌饲料中提前加入药剂可显著降低幼虫的死亡率。添加 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂和 20%三唑酮乳油的幼虫体重增长率显著高于对照（P<0.05）。

第 3 组处理中，各药剂处理的幼虫死亡率总体偏高，对照的死亡率最高为 88.89% ± 2.22%，20%三唑酮乳油的幼虫死亡率最低为 58.89% ± 4.01%，且显著低于对照（P<0.05），其他药剂处理的幼虫死亡率均低于对照，与对照无显著差异（P>0.05），可见在幼虫感染后再加入药剂防治效果不佳。7 个药剂的体重增长率均与对照无显著性差异（P>0.05），对照的幼虫体重增长率最高为 65.96% ± 8.21%，80%代森锰锌的幼虫体重增长率最低为 53.21% ± 3.05%。

3　结论与讨论

本研究从白星花金龟病虫上分离出一株病原菌，经鉴定为金龟子绿僵菌，绿僵菌在害虫生物防治方面应用广泛，刘玉升等（2011）和蒋雯等（2014）对绿僵菌的毒力及应用技术方面研究比较多，但作为病原菌其在昆虫养殖方面则严重影响昆虫的成活率，本研究从实际养殖中的问题出发，通过分离病原菌并筛选对绿僵菌有控制效果的药剂，从而达到提高白星花金龟养殖效率的目的。张英财等（2012）和李慧玲等（2024）通过平板实验来测定农药与绿僵菌相容性，测定结果在实际应用中效果未知，其防治效果在实际应用中受环境、幼虫抵抗力等多方面因素影响。本研究是模拟昆虫养殖的环境，直接通过感染昆虫来测定药剂的使用效果，结果更加贴近实际。

表 2 7 种药剂推荐浓度下 18 d 对白星花金龟 3 龄幼虫的生长发育影响

Table 2 The effects of seven pesticides at the recommended concentrations for 18 d on the growth and development of *Protaetia brevitarsis* 3rd instar larvae

药剂名称 Medication names	1 组 Group 1		2 组 Group 2		3 组 Group 3	
	死亡率（%） Mortality rate (%)	体重增长率（%） Weight growth rate (%)	死亡率（%） Mortality rate (%)	体重增长率（%） Weight growth rate (%)	死亡率（%） Mortality rate (%)	体重增长率（%） Weight growth rate (%)
多菌灵 Carbendazim	1.11 ± 1.11 ab	73.91 ± 7.73 ab	16.67 ± 1.93 bc	74.38 ± 2.57 c	75.56 ± 2.94 ab	64.78 ± 7.00 a
甲基硫菌 Thiophanate-Methyl	0.00 ± 0.00 a	70.91 ± 2.43 ab	23.33 ± 3.84 ab	83.47 ± 1.61 ab	71.11 ± 2.94 ab	55.05 ± 5.08 a
代森锰锌 Mancozeb	4.44 ± 1.11 c	74.22 ± 7.51 ab	30.00 ± 3.85 a	75.11 ± 3.14 c	84.44 ± 8.01 ab	53.21 ± 3.05 a
百菌清 Chlorothalonil	3.33 ± 0.00 bc	75.68 ± 4.20 ab	23.33 ± 3.84 ab	74.01 ± 2.54 c	73.33 ± 6.94 ab	65.48 ± 5.11 a
三唑酮 Triadimefon	0.00 ± 0.00 a	84.72 ± 6.17 a	12.22 ± 2.22 c	85.49 ± 1.37 a	58.89 ± 4.01 b	64.99 ± 6.45 a
矮壮素水剂 Cycocel	0.00 ± 0.00 a	73.79 ± 3.61 ab	12.22 ± 2.94 c	73.01 ± 1.91 c	82.22 ± 8.01 a	58.60 ± 8.61 a
哒螨灵 Pyridaben	1.11 ± 1.11 ab	50.18 ± 7.25 c	20.00 ± 1.92 bc	76.63 ± 2.20 bc	83.33 ± 5.09 a	65.58 ± 6.88 a
对照 CK	0.00 ± 0.00 a	67.36 ± 4.82 abc	32.22 ± 2.22 a	70.67 ± 2.64 c	88.89 ± 2.22 a	65.96 ± 8.21 a

对照：清水。表中数值为平均值 ± 标准误，同列数据后不同字母表示差异显著（P<0.05，Duncan 氏新复极差法）。

CK: Distilled water. Data in the table are presented as mean±SE, and followed by the different letters within the same column indicate significant difference (P<0.05, Duncan's multiple range test).

本研究通过 3 组处理分别评估药剂对昆虫成活和生长发育的影响、对带菌基料里病原菌抑制的效果、幼虫感染发病后的治疗效果。结果显示，60%多菌灵可湿性粉剂、70%甲基硫菌灵可湿性粉剂、20%三唑酮乳油、50%矮壮素水剂 4 种药剂对虫体成活率及体重增长无显著影响。在带菌基料里添加 60%多菌灵可湿性粉剂、20%三唑酮乳油、50%矮壮素水剂、20%哒螨灵乳油较对照均可显著降低幼虫死亡率，其中 20%三唑酮乳油和 50%矮壮素水剂的死亡率最低，为 12.22% ± 2.22%和 12.22% ± 2.94%。带菌基料里添加 70%甲基硫菌灵可湿性粉剂和 20%三唑酮乳油的幼虫体重增长率显著高于对照。在第 3 组的处理中，各处理幼虫死亡率显著升高，可见在幼虫感染后再添加药剂治愈效果较差，其中 20%三唑酮乳油处理的幼虫死亡率最低且显著低于对照，为 58.89% ± 4.01%，其余药剂处理的幼虫死亡率均低于对照但不显著，体重增长率各处理间无显著差异，试验数据中的部分死亡率、体重增长率数据的标准差较大，可能和个体差异或环境波动有关。通过试验结果可看出，在幼虫感染前添加药剂可有效预防幼虫的感染和死亡，在幼虫感染后再添加效果较差，综合 3 组数据，20%三唑酮乳油的防治效果最好。

研究中还发现，三唑酮在第 1 组和第 2 组试验中均可提高白星花金龟幼虫的体重增长率，赵素霞等（2023）筛选到一株三唑酮高效降解菌 SM3，该菌属于黄色单胞菌属 *Xanthomonadaceae*，黄色单胞菌的氧化代谢系统能够有效的降解多环芳香烃等有机物（章俭和夏春谷，2004; Gao *et al.*，2013），Wang 等（2022）对白星花金龟肠道微生物进行了分析，在白星花金龟肠道中也有黄色单胞菌 *Xanthomonadaceae* 的存在。笔者推测三唑酮在白星花金龟肠道微生物的作用下发生了降解，虫体吸收了三唑酮降解后的代谢产物，从而导致了幼虫体重的增加，可通过分离白星花金龟肠道微生物、研究三唑酮在白星花金龟体内的代谢途径等方法，进一步研究其促进体重增长的机制。

本研究中分离得到的绿僵菌对白星花金龟的毒力较强，感染 1 龄幼虫的死亡率可达到 100.00%，2 龄幼虫死亡率达到 91.67%，该菌可

为自然界中白星花金龟的防治提供很好的菌种资源。本研究筛选到的药剂为白星花金龟的人工繁殖以及资源化利用提供了技术支撑。

参考文献 (References)

Chen RZ, He KL, Yin J, Wang ZM, Li Y, 2006. Preliminary study on propensity of *Potosia brevitaris* Lewis and its behaviour law in endangering maize by formicating. *Journal of Jilin Agricultural University*, 28(3): 240–243. [陈日曌, 何康来, 尹姣, 王志明, 李玉, 2006. 白星花金龟主要习性及其群集为害玉米行为机制的初步研究. 吉林农业大学学报, 28(3): 240–243.]

Gao SM, Seo JS, Wang J, Keum YS, Li JQ, Li QX, 2013. Multiple degradation pathways of phenanthrene by *Stenotrophomonas maltophilia* C6. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 79: 98–104.

Ham YK, Kim SW, Song DH, Kim HW, Kim IS, 2021. Nutritional composition of white-spotted flower chafer (*Protaetia brevitarsis*) larvae produced from commercial insect farms in Korea. *Food Science of Animal Resources*, 41(3): 416–427.

Hawkey KJ, Lopez VC, Brameld JM, Parr T, Salter AM, 2021. Insects: A potential source of protein and other nutrients for feed and food. *Annual Review of Animal Biological Sciences*, 9: 333–354.

Ji BZ, Liu SW, Zhang K, 2011. Fundamentals of Entomology and Identification of Common Species. Beijing: Science Press. 251–252. [嵇保中, 刘曙雯, 张凯, 2011. 昆虫学基础与常见种类识别. 北京: 科学出版社. 251–252.]

Jiang W, Duan XD, Ma DY, Adilai, Qiang S, 2014. Identification and pathogenicity detection of *Metarhizium anisopliae* to *Potosia brevitaris* Lewis in Xinjiang. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(3): 342–347. [蒋雯, 段晓东, 马德英, 阿迪莱, 羌松, 2014. 新疆白星花金龟绿僵菌分离鉴定及致病力测定. 中国生物防治学报, 30(3): 342–347.]

Jin LN, Sun S, Yang WS, Li JJ, 2008. Sero-pharmacological experiment of anti-tumor effect of the grub extract in vitro. *Shandong Medicine*, 48(1): 31–32. [金龙男, 孙抒, 杨万山, 李基俊, 2008. 蛴螬提取物抗肿瘤作用的体外血清药理学实验. 山东医药, 48(1): 31–32.]

Joung KH, Kim JW, Lee SB, Jang DH, Yoo BM, Bea SM, Chang YH, Lee YH, Seo DC, 2022. Effect of *Protaetiabrevitarsis* larvae manure application on lettuce growth and soil chemical properties. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 55(1): 80–85.

Lai DQ, Wang QL, Wu Y, Shu CL, Zhang Y, Liu CQ, 2019. The effects of *Protaetia brevitarsis* larva manure on the development of pepper seedlings in low-temperature conditions. *Northern Horticulture*, 2019(8): 63–66. [赖德强, 王庆雷, 吴娱, 束长龙, 张悦, 刘春琴, 2019. 白星花金龟幼虫虫粪对低温条件下辣椒苗期发育的影响. 北方园艺, 2019(8): 63–66.]

Li HL, Liu FJ, Li LD, Wang DF, 2024. Compatibility of *Metarhizium pingshaense* with thirteen commonly used pesticides. *Acta Tea Sinica*, 65(6): 55–61. [李慧玲, 刘丰静, 李良德, 王定锋, 2024. 平沙绿僵菌与 13 种茶园常用农药相容性研究. 茶叶学报, 65(6): 55–61.]

Li YM, Fu T, Geng LL, Shi Y, Chu HY, Liu FS, Liu CQ, Song FP, Zhang J, Shu CL, 2019. *Protaetia brevitarsis* larvae can efficiently convert herbaceous and ligneous plant residues to humic acids. *Waste Management*, 83: 79–82.

Liu FS, Feng XJ, Xi GC, Wu Y, Wang QL, 2018. The effects of *Potosia brevitarsis* larva manure application on the growth of cherry radish. *Hubei Agriculture Sciences*, 57(4): 44–46, 50. [刘福顺, 冯晓洁, 席国成, 吴娱,王庆雷, 2018. 白星花金龟幼虫虫粪对樱桃萝卜生长情况的影响. 湖北农业科学, 57(4): 44–46, 50.]

Liu YS, Wang QH, Wang ZP, He XH, Zheng JF, 2011. Isolation and toxicity test of *Metarhizium anisopliae* to *Potosia brevitarsis*. *Chinese Journal of Microecology*, 23(2): 115–116. [刘玉升, 王清海, 王振鹏, 贺新华, 郑继法, 2011. 白星花金龟绿僵菌分离及毒力测定. 中国微生态学杂志, 23(2): 115–116.]

Nikkah A, Van Haute S, Jovanovic V, Jung HJ, Dewulf J, Velickovic TC, Ghnimi S, 2021. Publisher correction: Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis seulensis* larvae) as a future protein and fat source. *Scientific Reports*, 11(1): 17664.

Pu ZL, Li ZZ, 1996. Insect Mycology. Hefei: Anhui Science TechPublishing House. 323–324. [蒲蛰龙, 李增智, 1996. 昆虫真菌学. 合肥: 安徽科学技术出版社. 323–324.]

Song LL, Sun S, Liu SS, Jin GZ, Jin LL, Yang WS, 2006. Morphological observation of Hela human cervical carcinoma cells by the raw grub extract. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 17(5): 673–675. [宋莲莲, 孙抒, 刘树森, 金光洙, 金莉莉, 杨万山, 2006. 蛴螬粗提物对人宫颈癌 Hela 细胞抑制作用的形态学观察. 时珍国医国药, 17(5): 673–675.]

Wang K, Gao PW, Geng LL, Liu CQ, Zhang J, Shu CL, 2022. Lignocellulose degradation in *Protaetia brevitarsis* larvae digestive tract: Refining on a tightly designed microbial fermentation production line. *Microbiome*, 10(1): 90.

Yang L, Zhang GJ, Xu T, Zhang LJ, Li JL, Zhang S, Qiang S, Ma DY, Liu YS, 2020. The effects of different agricultural organic wastes on the biological characteristics of *Protaetia* (Liocola)

brevitarsis (Lewis). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(4): 946–954. [杨柳, 张广杰, 徐韬, 张连俊, 李金兰, 张帅, 羌松, 马德英, 刘玉升, 2020. 不同农业有机废弃物对白星花金龟生物学特性影响研究. 应用昆虫学报, 57(4): 946–954.]

Yang WS, Li JJ, Sun S, Liu SS, Jin CF, 2006. Experimental study on anti-tumor effect of the grub extract on H22 hepatocellular carcinoma cells of mice. *Journal of Sichuan of Traditional Chinese Medicine*, 24(11): 9–10. [杨万山, 李基俊, 孙抒, 刘树森, 金昌范, 2006. 蛴螬提取物对小鼠肝癌 H22 的抑制作用. 四川中医, 24(11): 9–10.]

Zhang J, Xia CG, 2004. Studies of structure and function of aromatic hydrocarbon dioxygenases. *Progress in Chemistry*, 16(1): 116–122. [章俭, 夏春谷, 2004. 芳香烃双加氧酶的结构与功能研究. 化学进展, 16(1): 116–122.]

Zhang YC, Nong XQ, Zhang ZH, Wang GJ, 2012. Compatibility of eighteen chemical pesticides with *Metarhizium anisopliae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(2): 186–191. [张英财, 农向群, 张泽华, 王广君, 2012. 18 种化学农药与绿僵菌相容性研究. 中国生物防治学报, 28(2): 186–191.]

Zhao SX, Shi SL, Hu P, Wang Y, Lin FX, Yue XY, Shi YH, 2023. Study on the degradation characteristics and application of triadimefon-degrading strain SM3. *Journal of Anhui Agricultural University*, 50(2): 275–282. [赵素霞, 史森磊, 胡芃, 王莹, 林凤翔, 岳星雨, 施艳红, 2023. 三唑酮降解菌 SM3 的降解特性及其应用研究. 安徽农业大学学报, 50(2): 275–282.]

Zheng HY, Liu JP, Nan HL, Li ZL, He LF, 2005. Research on the diet of *Protaetia brevitarsis*. *Shaanxi Agricultural Sciences*, 51(3): 23–24, 54. [郑洪源, 刘建平, 南怀林, 李占林, 何丽芬, 2005. 白星花金龟子食性研究. 陕西农业科学, 51(3): 23–24, 54.]

Zhou SY, Wang QL, Zhao SG, Han JC, Zhao PW, Liu CQ, Zhang YR, 2024. Effects of *Potosia brevitarsis* Lewis manure sand on the growth of three native medicinal herbs in Inner Mongolia. *Journal of Northeast Forestry University*, 52(4): 107–113. [周诗玉, 王庆雷, 赵胜国, 韩建春, 赵鹏武, 刘春琴, 张燕如, 2024. 白星花金龟虫粪砂对 3 种内蒙道地药材生长的影响. 东北林业大学学报, 52(4): 107–113.]