

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0779

平沙绿僵菌 SG-A 两种培养基比较 及其对瓜绢螟的致病活力

胡海燕, 张然然, 王亚丽, 李晓莉, 段会婷

(潍坊科技学院·山东省高校设施园艺实验室 山东寿光 262700)

摘要: 为比较平沙绿僵菌 SG-A 在两种培养基上的生物学特性及对瓜绢螟不同虫态的致病力, 室内测定了平沙绿僵菌 SG-A 在马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)和萨氏培养基(SDAY)上培养 14 d 后的菌落大小、产孢量及孢子萌发率等指标, 并采用浸虫法测定了对瓜绢螟不同虫态的致病力。结果表明, 平沙绿僵菌 SG-A 在 PDA 培养基中培养 14 d 后的产孢量显著高于 SDAY 培养基, 菌落大小和孢子萌发率差异不显著。平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟 2 龄、4 龄幼虫和蛹均存在较高的致病力, 孢子浓度越大, 致病力越高, 其中对蛹的致病力最高, LC_{50} 为 1.93×10^5 个 $\cdot mL^{-1}$, 当孢子浓度为 1×10^8 个 $\cdot mL^{-1}$ 时, 处理 8 d 蛹的累积死亡率为 90%, 2 龄和 4 龄幼虫的累积死亡率也分别达到 86.67% 和 83.33%, 但 4 龄幼虫出现死亡的时间要早于蛹和 2 龄若虫, LT_{50} 为 2.60 d。综上所述, 平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟各虫态均具有较高的致病力, 可进一步挖掘其生防潜力。

关键词: 平沙绿僵菌; SG-A 菌株; 瓜绢螟; 生物学特性; 致病力

中图分类号: S476.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)08-152-06

Comparison of two culture medium of *Metarhizium pingshaense* SG-A and its pathogenic activity against *Diaphania indica* (Saunders)

HU Haiyan, ZHANG Ranran, WANG Yali, LI Xiaoli, DUAN Huiting

(Weifang University of Science and Technology/Shandong Provincial University Laboratory for Protected Horticulture, Shouguang 262700, Shandong, China)

Abstract: In order to compare the biological characteristics and pathogenicity of *Metarhizium pingshaense* SG-A on two media, the size of colony, sporulation yield and spore germination rate of *M. pingshaense* SG-A on potato glucose AGAR medium (PDA) and sabouraud dextrose agar with yeast extract (SDAY) were measured after 14 days. The pathogenicity of *M. pingshaense* SG-A against different insect states of *Diaphania indica* (Saunders) was determined by dip method. The biological characteristics on different media and pathogenicity to *D. indica* of *M. pingshaense* SG-A were measured. The results showed that the spore production of *M. pingshaense* SG-A after 14 days of PDA culture was significantly higher than that of SDAY culture medium, and there was no significant difference in colony size and spore germination rate. *M. pingshaense* SG-A showed high pathogenicity against the 2nd and 4th instar larvae and pupae, and the pupae had the highest pathogenicity. The LC_{50} was 1.93×10^5 conidia $\cdot mL^{-1}$, and the cumulative mortality of pupae was 90% when the spore concentration was 1×10^8 conidia $\cdot mL^{-1}$. The cumulative mortality of 2nd instar and 4th instar larvae also reached 86.67% and 83.33%, respectively, but the death time of 4th instar larvae was earlier than that of pupa and 2nd instar nymphs, and the LT_{50} was 2.60 days. In conclusion, *M. pingshaense* SG-A has high pathogenicity against each species of *D. indica*, which can further explore its biocontrol potential.

Key words: *Metarhizium pingshaense*; SG-A strain; *Diaphania indica* (Saunders); Biological characteristics; Pathogenicity

收稿日期: 2023-12-15; 修回日期: 2024-03-01

基金项目: 潍坊科技学院博士科研启动项目(2021KJBS02); 山东省高校设施园艺实验室资助项目(2018YY041); 山东省重点研发计划项目(2019GNC106135)

作者简介: 胡海燕, 女, 副教授, 研究方向为设施蔬菜害虫生物防治及抗药性治理。E-mail: huhaiyanzy@163.com

通信作者: 张然然, 女, 副教授, 研究方向为设施蔬菜害虫抗药性及综合治理。E-mail: zhrr123zh@163.com

瓜绢螟[*Diaphania indica* (Saunders)]是危害设施蔬菜的重要害虫之一,其中葫芦科植物是其嗜食的主要寄主,特别是在黄瓜、丝瓜、苦瓜等寄主上的危害逐年加重^[1]。在温室适宜的环境条件下,瓜绢螟单雌产卵量可达500粒,常年危害植物叶片和果实,尤其3龄后食量暴增,吐丝缀合叶片或嫩梢后藏匿其中,每个叶片上有几十头幼虫取食,危害严重时可将叶片全部吃光^[2]。目前,关于瓜绢螟的防治主要采用化学药剂,但长期单一地采用化学药剂会导致瓜绢螟的抗性逐渐增强。因此,亟待寻找一条绿色高效的防治途径,生物防治已逐渐被人们所重视,广泛应用于保护地蔬菜害虫的防治,虫生真菌就是化学农药控制害虫的重要替代品,其中绿僵菌(*Metarhizium* spp.)是目前应用最广泛的虫生真菌之一,绿僵菌种类较多,已经被证实对多种害虫均有较高的防治效果。林华峰等^[3]研究表明,绿僵菌大孢变种在进行土壤和喷雾处理蛴螬后的累积僵虫率分别达88.23%和76.47%。Zhao等^[4]研究表明,平沙绿僵菌MaFZ-13侵染茶尺蠖后的死亡率达93%。裴松松等^[5]利用紫外诱变得到的金龟子绿僵诱变菌株F2-M18-8-4对西花蓟马的校正虫口减退率为79.52%,显著高于吡虫啉、噻虫嗪及乙基多杀菌素的防治效果。Peng等^[6]研究表明,金龟子绿僵菌CQ-Ma421施用7d后对稻飞虱的防效在60%以上。另外,还有较多关于绿僵菌防治飞蝗、叶甲等害虫的研究报道^[7-8]。但目前关于平沙绿僵菌对瓜绢螟致病性的研究还未见报道。笔者选择前期分离筛选到的1株平沙绿僵菌菌株SG-A(*Metarhizium pingshaense* SG-A),通过比较马铃薯葡萄糖琼脂培养基和萨氏培养基对平沙绿僵菌菌株SG-A生长和产孢等指标的影响以及对瓜绢螟不同虫态的致病力,以期为瓜绢螟的生物防治提供菌种资源和应用依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试菌种:菌株SG-A是通过采集寿光市学府蔬菜有限公司露天种植的烟薯25田块地表以下20cm的土壤样品,以黄粉虫诱集法并分离纯化后获得^[9],经形态学和分子生物学鉴定,确定为平沙绿僵菌(Genebank 登录号为:OR900300)。

供试昆虫:瓜绢螟幼虫于2023年4月采自寿光市稻田镇西里村黄瓜大棚植株上,并带回室内饲养多代后取龄期一致的2龄、4龄幼虫以及蛹备用。

1.2 方 法

试验于2023年8—9月在潍坊科技学院进行。

1.2.1 不同培养基对平沙绿僵菌SG-A菌落生长的影响 试验采用菌液点滴法^[9],刮取平板中的分生孢子,使用含有0.05%吐温-80的无菌水配成 1×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 的孢子悬浮液,用无菌移液枪移取2 μL 孢子悬浮液分别接种到萨氏培养基(SDAY:10g $\cdot \text{L}^{-1}$ 蛋白胨、40g $\cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖、10g $\cdot \text{L}^{-1}$ 酵母提取物及20g $\cdot \text{L}^{-1}$ 琼脂)和马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA:马铃薯200g $\cdot \text{L}^{-1}$ 、葡萄糖20g $\cdot \text{L}^{-1}$ 及琼脂20g $\cdot \text{L}^{-1}$)的无菌平板中央,将含有孢子悬浮液的培养皿使用封口膜封好后放置于培养箱中黑暗培养,培养箱中温度保持在 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$,湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 。培养3d后,挑选含有单菌落的培养皿以十字交叉法测定菌落直径,每个处理5次重复,每隔2d测定1次,培养14d后测定结束,计算菌落日增长量,同时观察记录两种培养皿的菌落颜色、菌落形态等特征。

1.2.2 不同培养基对平沙绿僵菌SG-A产孢量的影响 平沙绿僵菌SG-A菌落培养14d后,用0.5cm直径的无菌打孔器分别在SDAY和PDA培养基菌落直径1/2处打取菌碟,置于50mL的锥形瓶中,加入20mL灭菌的吐温-80溶液,使用磁力搅拌器将孢子块充分打散,使孢子均匀分布,然后用血球计数板在生物显微镜下统计不同培养基上的产孢量,每个处理至少5次重复。

按照刘宝生等^[10]的方法统计产孢量: 1 cm^2 菌落孢子数量=(平均每个小格孢子数量 $\times 4 \times 10^6 \times$ 稀释倍数)/ $(3.14 \times r^2 \times n)$, r 为菌落半径(cm), n 为菌落的数量(块)。

1.2.3 不同培养基对平沙绿僵菌SG-A孢子萌发率的影响 首先配制 1×10^7 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 的孢子悬浮液,在含有10mLSDAY和PAD培养基的锥形瓶中分别加入1mL的孢子液,放入恒温振荡器中振荡培养24h,然后吸取适量菌液滴加到血球计数板上观察孢子萌发情况,以芽管长度 $>$ 孢子半径的孢子视为已萌发孢子^[11],每个处理至少5次重复,每次观察孢子数量不少于200个,计算孢子萌发率。孢子萌发率/ $\% =$ 萌发孢子数/孢子总数 $\times 100$ 。

1.2.4 平沙绿僵菌SG-A对瓜绢螟幼虫及蛹的致病力 试验采用浸虫法^[9],先用含有0.05%吐温-80的无菌水配制孢子悬浮液,从高浓度往低浓度依次稀释,配制时用磁力搅拌器将孢子搅拌均匀,配制浓度依次为 1×10^8 、 1×10^7 、 1×10^6 、 1×10^5 、 1×10^4 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 。然后分别挑选龄期一致的瓜绢螟2龄、4龄幼虫及

蛹,将瓜绢螟幼虫及蛹分别浸入到不同浓度的孢子悬浮液中 2~3 s 后取出,在无菌滤纸上晾干多余药液后,将瓜绢螟幼虫分别放入含有幼嫩黄瓜叶片的一次性塑料盒中饲养,保鲜膜封口后扎眼透气,将瓜绢螟蛹放入含有湿润滤纸的一次性塑料盒中,以含有 0.05%吐温-80 无菌水作为空白对照,每个处理至少 5 次重复,每个重复 10 头试虫,将处理好的试虫放入培养箱中观察饲养,培养箱温度(25±1)℃,湿度(70±5)%,光周期为 L:D=12 h:12 h。每天观察瓜绢螟幼虫和蛹的存活情况,以细毛笔触碰幼虫虫体不动即视为死亡,触碰蛹的腹部末端不动也视为蛹已死亡,将死亡僵硬的幼虫和蛹放到含有湿润无菌滤纸的玻璃培养皿中保湿培养,镜检如果有绿僵菌菌丝和孢子长出即为绿僵菌感染导致的死亡,统计每个处理感染死亡的幼虫和蛹的数量,计算死亡率和校正死亡率。死亡率/%=死虫数/供试虫数×100。校正死亡率/%=(处理死亡率-对照死亡率)/(1-对照死亡率)×100。

1.3 数据分析

采用 EXCEL 2010 进行数据初步的统计整理和作图,采用 SPSS18.0 进行单因素方差分析及邓肯新复极差法多重比较分析。

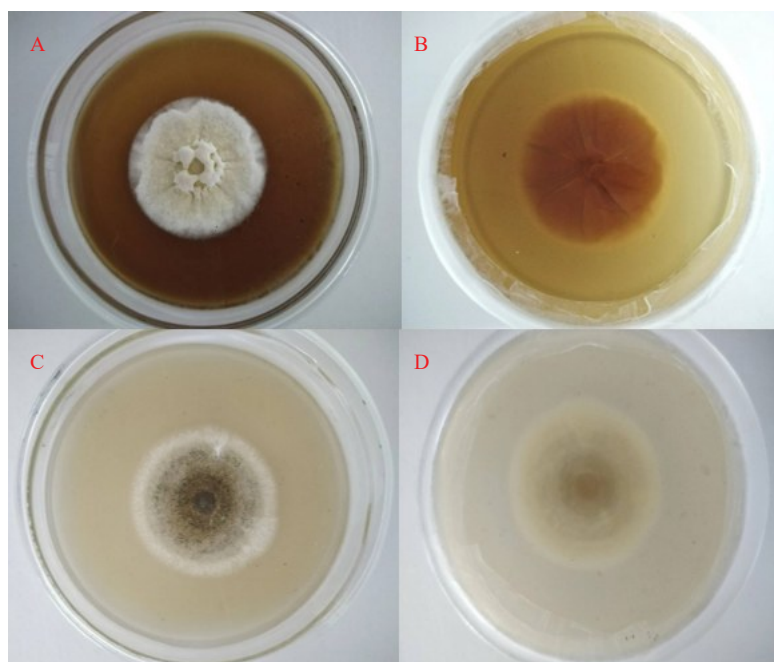
2 结果与分析

2.1 不同培养基对菌株 SG-A 生长和产孢量的影响

试验结果表明,平沙绿僵菌 SG-A 在 PDA 和 SDAY 培养基上培养后的生长形态存在差异,在 SDAY 上培养后菌落的正面颜色为黄白色,菌丝生长比较旺盛,孢子颜色为黄绿色,反面颜色为红褐色,菌落有纵褶,而在 PDA 培养基上菌落正面为轮纹状,孢子颜色为深绿色,菌落上覆盖一层薄的菌丝,反面为颜色较浅的轮纹状(图 1)。培养 14 d 后两种培养基的菌落直径大小和孢子萌发率差异均不显著,但在 PDA 培养基培养后的产孢量为 4.74×10^5 个·mL⁻¹,显著高于 SDAY 培养基(表 1)。

2.2 平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟幼虫和蛹的致病力

从平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟 2 龄幼虫的致病结果(图 2-A)可以看出,处理后第 3 天开始出现死亡虫体,且随着浓度的增加和时间的延长,瓜绢螟 2 龄幼虫的校正死亡率增加。处理第 8 天,当孢子浓度为 1×10^8 个·mL⁻¹时,瓜绢螟 2 龄幼虫的死亡率最高为 86.67%。瓜绢螟 2 龄幼虫感染绿僵菌死亡后,第 1 天体色会由绿色变为僵硬的黄色,第 2 天体表节间会逐渐长出白色菌丝,第 4~5 天后体表会逐渐长出绿色孢子并布满整个虫体(图 2-B)。



注:A、B 分别为 SDAY 培养基上菌落的正面和反面形态;C、D 分别为 PDA 培养基上菌落的正面和反面形态。

Note: A and B are the positive and negative forms of the colonies on SDAY medium, respectively; C and D are the positive and negative forms of colonies on PDA medium, respectively.

图 1 平沙绿僵菌 SG-A 在 SDAY 和 PDA 培养基上培养 12 d 的生长形态

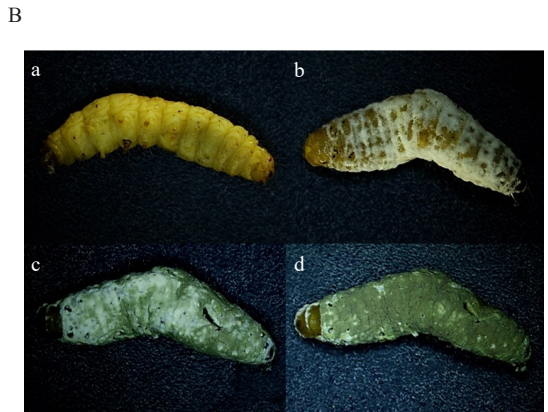
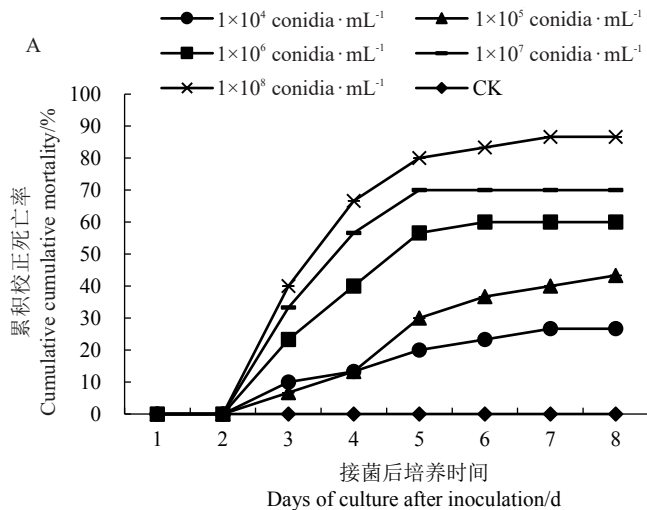
Fig. 1 Growth morphology of *Metarhizium pingshaense* SG-A cultured on SDAY and PDA medium for 12 days

表1 平沙绿僵菌菌株SG-A在SDAY和PDA培养基上的培养特征
Table 1 Culture characteristics of *M. pingshaense* strain SG-A on SDAY and PDA medium

培养基名称 Name of medium	菌落直径 Colony diameter/cm	产孢量 Sporulation quantity/($\times 10^5 \cdot \text{mL}^{-1}$)	孢子萌发率 Germination rate of spores/%
PDA	6.57±0.25 a	4.74±0.47 a	81.33±6.03 a
SDAY	6.53±0.35 a	1.37±0.37 b	77.33±5.86 a

注:同列数据后面不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level.



注:a为幼虫死亡1d;b为幼虫死亡3d;c为幼虫死亡4d;d为幼虫死亡5d。

Note: a indicates the larval death 1 d; b indicates the larval death 3 d; c indicates the larvae death 4 d; d indicates the larvae death 5 d.

图2 平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾2龄幼虫的累积死亡率(A)和侵染症状(B)
Fig. 2 Cumulative mortality (A) and infection symptoms(B) of *M. pingshaense* SG-A on the second instar larvae of *D. indica*

平沙绿僵菌SG-A处理瓜绢蛾4龄幼虫后,从第2天开始,高浓度处理出现虫体死亡,且随着孢子浓度的升高和处理时间的延长,4龄幼虫的死亡率逐渐升高。当浓度为 1×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 时,处理第8天瓜绢蛾4龄幼虫的校正死亡率为83.33%。4龄幼虫死亡后体色也由绿色变为僵硬的黄色,随着侵染时间的延长,体表会布满菌丝并逐渐长出绿色的孢子(图3)。

平沙绿僵菌SG-A处理瓜绢蛾蛹的试验结果表明,菌株SG-A对瓜绢蛾蛹的致病力最高,蛹的死亡从第3天开始出现,随着孢子浓度的升高和处理时间的延长,蛹的死亡率逐渐升高,当浓度为 1×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 时,处理第8天瓜绢蛾蛹的校正死亡率为90.00%。当蛹死亡时触碰蛹体末端无反应,且蛹体僵直体色变深,节间、附肢等部位逐渐长出白色的菌丝,随后3~5d逐渐长出绿色孢子并布满虫体(图4)。

2.3 平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾幼虫和蛹的毒力分析

从表2可以看出,平沙绿僵菌SG-A对瓜绢

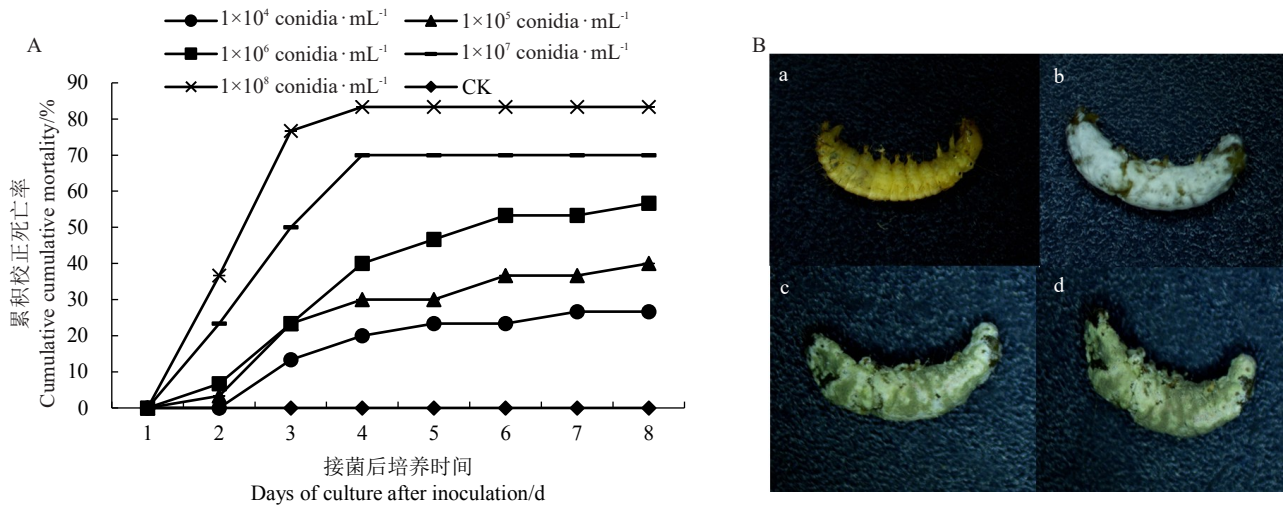
蛾幼虫和蛹的毒力测定结果存在差异,其中平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾蛹的毒力最高,半致死浓度 LC_{50} 为 1.93×10^5 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$,对4龄幼虫的毒力最低, LC_{50} 为 4.03×10^5 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 。

2.4 1×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度的平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾幼虫和蛹的致死中时(LT₅₀)

从表3可以看出,平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾幼虫和蛹的致死中时(LT₅₀)存在差异,其中平沙绿僵菌SG-A对瓜绢蛾4龄幼虫的致死中时最短,为2.60d,对瓜绢蛾蛹的致死中时(LT₅₀)最长,为4.56d。

3 讨论与结论

绿僵菌是重要的害虫生防菌,具有种类多、安全高效且不易产生抗性等众多优点,已被广泛应用于农业害虫的生物防治。研究表明,绿僵菌的生长速率、产孢量是影响其致病力的重要因素^[12-13],而营养物质是影响绿僵菌生长和产孢的重要影响因子之一。笔者在本研究中发现,平沙绿僵菌SG-A在

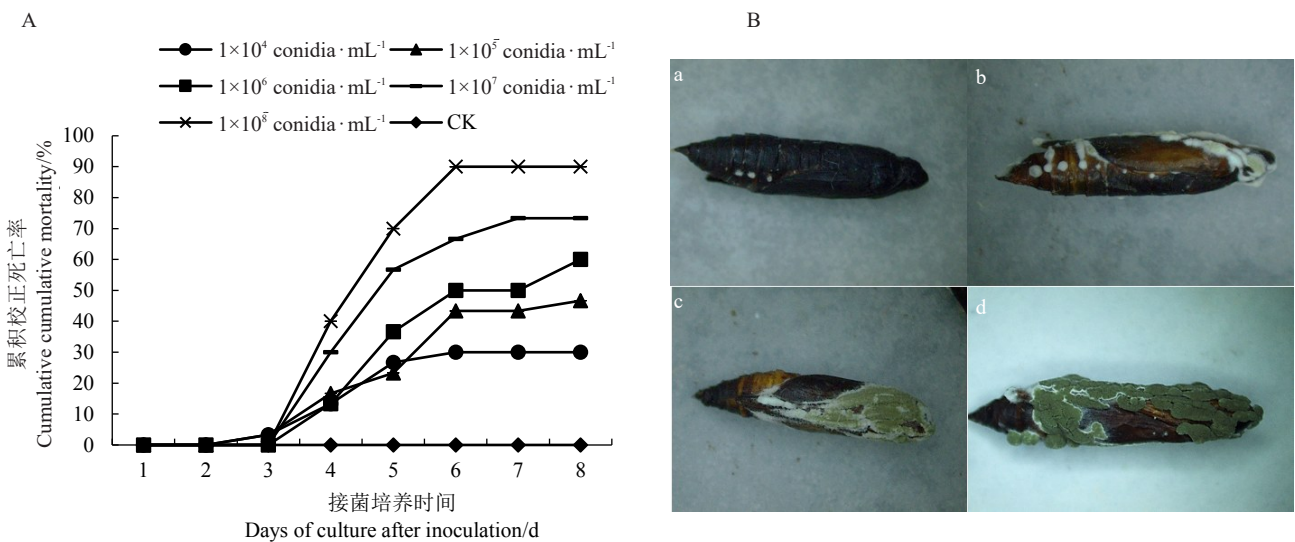


注: a 为幼虫死亡 1 d; b 为幼虫死亡 3 d; c 为幼虫死亡 4 d; d 为幼虫死亡 5 d。

Note: a indicates the larval death 1 d; b indicates the larval death 3 d; c indicates the larvae death 4 d; d indicates the larvae death 5 d.

图 3 平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟 4 龄幼虫的累积死亡率(A)和侵染症状(B)

Fig. 3 Cumulative mortality (A) and infection symptoms(B) of *M. pingshaense* SG-A on the fourth instar larvae of *D. indica*



注: a 为蛹死亡 1 d; b 为蛹死亡 3 d; c 为蛹死亡 4 d; d 为蛹死亡 5 d。

Note: a indicates the pupae death 1 d; b indicates the pupae death 3 d; c indicates the pupae death 4 d; d indicates the pupae death 5 d.

图 4 平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟蛹的累积死亡率(A)和侵染症状(B)

Fig. 4 Cumulative mortality (A) and infection symptoms(B) of *M. pingshaense* SG-A against pupae of *D. indica*

表 2 平沙绿僵菌 SG-A 对瓜绢螟幼虫和蛹的毒力

Table 2 Virulence of *M. pingshaense* SG-A to larvae and pupae of *D. indica*

虫态 State	毒力回归方程 Toxic regression equation	LC ₅₀ /($\times 10^5 \cdot \text{mL}^{-1}$)	95%置信区间 95% confidence interval/($\times 10^5 \cdot \text{mL}^{-1}$)
2 龄 2nd instar	$Y = -2.254 + 0.412X$	2.97	0.68~28.4
4 龄 4th instar	$Y = -2.212 + 0.395X$	4.03	0.95~47.4
蛹 Pupae	$Y = -2.228 + 0.421X$	1.93	0.03~16.3

表3 1×10^8 个·mL⁻¹浓度的平沙绿僵菌SG-A对瓜绢螟幼虫和蛹的致死中时(LT₅₀)Table 3 The lethal time of 50%(LT₅₀)of *M. pingshaense* SG-A at a concentration of 1×10^8 ·mL⁻¹ to the larvae and pupae of *D. indica* caterpillar

虫态 State	毒力回归方程 Toxic regression equation	LT ₅₀ The lethal time of 50%/d	95%置信区间 95% confidence interval/d
2龄 2nd instar	$Y=-2.426+4.345X$	3.62	2.835~4.332
4龄 4th instar	$Y=-1.225+2.953X$	2.60	1.722~3.353
蛹 Pupae	$Y=-5.063+7.683X$	4.56	3.910~5.139

PDA和SDAY两种培养基上的产孢量存在明显的差异,在PDA培养基上生长的菌落产孢量显著高于SDAY培养基。庞继鑫等^[14]研究表明,莱氏绿僵菌在PDA培养基上的产孢量也显著高于SDAY培养基。这说明,相比SDAY培养基,PDA培养基更适合平沙绿僵菌SG-A的生长和繁殖。

目前,关于绿僵菌对多种害虫具有较高致病力的研究已有较多报道,但关于绿僵菌对瓜绢螟致病力的相关研究还未见报道。笔者研究发现,从土壤中分离得到的平沙绿僵菌菌株SG-A对瓜绢螟2龄、4龄和蛹均具有较高的致病力,且孢子浓度与致病力呈正相关。其中,对蛹的致病力最高,LC₅₀为 1.93×10^5 个·mL⁻¹,孢子浓度为 1×10^8 个·mL⁻¹时,处理8d蛹的累积死亡率为90.00%,2龄和4龄幼虫的累积死亡率也分别达到86.67%和83.33%。杨帆等^[15]研究表明,平沙绿僵菌对小菜蛾具有较高的侵染力,5d后的累积校正死亡率为78.33%。本研究结果表明,平沙绿僵菌SG-A对蛹的致病力最高,但4龄幼虫的致死中时(LT₅₀)要短于蛹和2龄幼虫,这可能是由于4龄幼虫体表表面积较大且节间褶皱多,更容易接触到较多的孢子,导致出现死亡的时间最早。

综上所述,平沙绿僵菌SG-A对瓜绢螟2龄、4龄幼虫和蛹均存在较高的致病力,孢子浓度越大,致病力越高,可作为防治瓜绢螟的虫生真菌,研究结果可为瓜绢螟的绿色防控提供参考和依据。但本试验仅比较了在室内条件下平沙绿僵菌SG-A对瓜绢螟不同虫态的致病力,田间对瓜绢螟的致病力以及具体的致病机制等还有待于更深入的研究。

参考文献

[1] 杨必茂.瓜绢螟的发生规律及其防治技术[J].福建农林科技,2007(30):56-57.
[2] 陈育民,郝东川,吴颖仪,等.不同杀虫剂防治瓜绢螟田间药效

试验[J].湖南农业科学,2020(5):58-60.

[3] 林华峰,李世广,张磊,等.绿僵菌大孢变种的生物学特征及其对蛴螬的毒力研究[J].应用生态学报,2006,17(2):351-353.
[4] ZHAO J, CHEN Y X, KEYHANI NO, et al. Isolation of a highly virulent *Metarhizium* strain targeting the tea pest, *Ectopis obliqua*[J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1164511.
[5] 裴松松,吴轩,李瑞军,等.对西花蓟马高效金龟子绿僵菌菌株筛选及在花生田间的应用效果[J].中国生物防治学报,2021,37(4):732-739.
[6] PENG Y F, TANG J F, HONG M S, et al. Suppression of rice planthopper populations by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* without affecting the rice microbiota [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86: e01337-20.
[7] PENG G X, WANG Z K, YIN Y P, et al. Field trials of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Ascomycota: Hypocreales) against oriental migratory locusts, *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) in Northern China[J]. Crop Protection, 2008, 27(9):1244-1250.
[8] 李亚,黄贝芳,陈月银,等.椰心叶甲高毒力绿僵菌菌株筛选及分子鉴定[J].广东农业科学,2018,45(7):94-99.
[9] 王爽,李新民,刘春来,等.东北地区土壤中高毒力虫生真菌菌株的筛选[J].黑龙江农业科学,2015(1):50-56.
[10] 刘宝生,谷希树,许静杨,等.白僵菌Bb08-12菌株生物学研究及其对美国白蛾的致病性[J].植物保护,2011,37(4):146-149.
[11] 温绍海,庞继鑫,杜广祖,等.2株感染蠖蛾的球孢白僵菌的分离鉴定及对草地贪夜蛾的毒力[J].植物保护,2022,48(4):318-323.
[12] 黄鹏,姚锦爱,余德亿,等.虫生真菌BB-T02分离鉴定及其对两种蓟马的致病力[J].中国生物防治学报,2020,36(6):929-937.
[13] 王利军,谭万忠,罗华东,等.虫生真菌及其在害虫生物控制中的应用现状与展望[J].河南农业科学,2010,39(4):119-125.
[14] 庞继鑫,肖关丽,杜广祖,等.一株罹病草地贪夜蛾成虫莱氏绿僵菌的分离鉴定及其致病力[J].中国生物防治学报,2023,39(2):331-339.
[15] 杨帆,刘春来,王爽,等.一株平沙绿僵菌的鉴定及生防应用潜力评价[J].植物保护,2018,44(5):199-205.