



# 球孢白僵菌与苦参碱混配对烟粉虱的毒力与田间防效

谢 婷,姜 灵,洪 波,王新谱,贾彦霞

(宁夏大学 农学院,银川 750021)

**摘 要** 旨在探讨球孢白僵菌与 8 种杀虫剂的相容性以及球孢白僵菌与苦参碱混配对温室烟粉虱的防治效果。首先进行 8 种杀虫剂与球孢白僵菌的相容性试验,然后选择相容性较高的苦参碱与球孢白僵菌的  $LC_{50}$  浓度以 9:1、4:1、1:1、1:4 和 1:9 体积比进行混配,以共毒系数对其毒力进行评价。结果表明:苦参碱与球孢白僵菌的相容性最好,尤其在 10 倍稀释度下,苦参碱对球孢白僵菌孢子萌发、菌丝生长及产孢抑制率分别为 14.44%、10.17% 和 12.63%。苦参碱与球孢白僵菌体积比为 4:1 时,共毒系数为 293,增效作用最明显。综上所述,苦参碱与球孢白僵菌在  $LC_{50}$  浓度下以 4:1 体积比混配具有极显著的增效作用。

**关键词** 球孢白僵菌;苦参碱;烟粉虱;相容性;共毒系数;联合毒力

中图分类号 S435.72

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)05-0830-07

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 又称棉粉虱或甘薯粉虱,广泛分布于热带、亚热带及温带地区,是一种重要的世界性害虫。该虫主要危害黄瓜、番茄、辣椒、西葫芦等蔬菜以及棉花等众多作物<sup>[1-2]</sup>。1889 年,烟粉虱在希腊的烟草上首次被发现并报道<sup>[3]</sup>。在中国,对烟粉虱的最初记载是 1949 年<sup>[4]</sup>,目前全国各地均有发生,寄主约有 74 科 900 多种<sup>[5-6]</sup>。迄今为止,对烟粉虱的防治仍以化学防治为主,但是自 20 世纪 80 年代 Prabhaker 发现烟粉虱对马拉硫磷等有机磷农药产生抗性以来,陆续发现其对拟除虫菊酯等农药均产生不同程度的抗性<sup>[7]</sup>。此外,不合理使用化学农药导致农药残留、环境污染和食品安全等问题已不容小觑,而采用病原真菌防治害虫具有无污染、安全高效等优点。因此,利用病原真菌来防治烟粉虱已成为国内外专家学者研究的热点<sup>[8]</sup>。

球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* (Balsamo) 作为一种广谱性昆虫病原真菌,对农业病虫害的防控具有重要作用<sup>[9]</sup>。其寄生范围广泛,能侵染 15 目 149 科 700 多种昆虫及 6 科 10 余种蛛螨类<sup>[10]</sup>。但由于其防效慢、花费大、易受环境影响、

应用技术还不够成熟等缺点不能广泛投入使用<sup>[11]</sup>。而余素红等<sup>[12]</sup>、姜灵等<sup>[13]</sup>研究表明,球孢白僵菌与一些杀虫剂复配对粉虱、蓟马、蚜虫等防治取得不错的效果。宁夏地区粉虱类害虫适生指数较高,虫害频发,尤其对温室蔬菜危害最为严重。近年来随着宁夏地区蔬菜产业的发展,化学防治导致的农药残留现象日益严重,因此生物防治的手段越来越受到人们的关注。本试验研究球孢白僵菌与 8 种杀虫剂的相容性以及球孢白僵菌与苦参碱复配对温室烟粉虱的防治效果,以期对温室烟粉虱综合防治提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试菌株:球孢白僵菌粉剂,江西天人生态有限公司生产。

供试作物:黄瓜,品种为‘德尔 7 号’,由宁夏天缘种业有限公司提供。黄瓜种植于温室大棚,初花期为试验主要时期。

供试杀虫剂见表 1。

收稿日期:2018-07-27 修回日期:2018-09-03

基金项目:宁夏“十三五”重点研发计划重大项目(2016BZ09-03)。

第一作者:谢 婷,女,硕士研究生,研究方向为昆虫生态学和害虫综合防治。E-mail:2366910587@qq.com

通信作者:贾彦霞,女,教授,主要从事昆虫生态学和害虫综合防治等方面的研究。E-mail:helenjia\_2006@126.com

表 1 供试杀虫剂信息  
Table 1 Information of tested insecticides

药剂 Insecticide	杀虫剂类别 Category	推荐稀释倍数 Recommend dilution	生产厂家 Manufacturer
10% 烯啶虫胺水剂 10% Nitenpyram AS	新烟碱类 Neonicotinoid insecticide	1 500	济南启农 Jinan Qinong
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 60 g/L Spinetoram FF	多杀菌素类 Spinetoram germicide	3 000	陶氏益农 Dow AgroSciences
5% 阿维菌素乳油 5% Abamectin EC	阿维菌素类 Avermectins germicide	2 700	江苏东宝 Jiangsu Dongbao
1.3% 苦参碱水剂 1.3% Matrine AS	植物源类 Botanical insecticide	2 500	天津恒源 Tianjin Hengyuan
0.5% 印楝素乳油 0.5% Azadirachtin EC	植物源类 Botanical insecticide	375	成都绿金 Chengdu Lujin
25% 噻嗪酮可湿性粉剂 25% Buprofezin WP	昆虫生长调节剂 Insect growth regulator	1 500	重庆树荣 Chongqing Shurong
10% 吡丙醚乳油 10% Pyriproxyfen EC	昆虫生长调节剂 Insect growth regulator	7 500	上海生农 Shanghai Shengnong
100 g/L 联苯菊酯乳油 Bifenthrin 100 g/L EC	拟除虫菊酯类 Pyrethroids insecticide	1 500	廊坊中试 Langfang zhongshi

## 1.2 8 种杀虫剂对球孢白僵菌孢子萌发、菌丝生长和产孢的影响

1.2.1 孢子萌发的测定 用含  $w = 0.05\%$  吐温 80 的无菌水充分洗脱球孢白僵菌孢子,制成数量为  $1 \times 10^7 \text{ mL}^{-1}$  的孢子悬浮液。利用无菌水将杀虫剂配制成田间推荐用量、以及 5 倍和 10 倍稀释浓度,并以  $w = 0.05\%$  吐温 80 的无菌水为对照组,分装至 1.5 mL 离心管中,各处理 5 个重复。摇床震荡 24 h 后,观察其孢子萌发量,计算孢子萌发抑制率。

孢子萌发抑制率 = (对照组孢子萌发数 - 处理组孢子萌发数) / 对照组孢子萌发数  $\times 100\%$

1.2.2 菌丝生长的测定 吸取 100  $\mu\text{L}$  3 个浓度梯度的杀虫剂于 PDA 培养基上制成含毒平板,取 20  $\mu\text{L}$  孢子悬浮液置于含毒平板中央,以  $w = 0.05\%$  吐温 80 的无菌水作为对照,在培养皿底部画互相垂直的直线,培养 10 d,每隔 2 d 测量其直径,计算菌丝生长抑制率。

菌丝生长抑制率 = (对照组菌落平均直径 - 处理组菌落平均直径) / 对照组菌落平均直径  $\times 100\%$

1.2.3 产孢的测定 用 0.5 cm 的打孔器在“1.2.2”节中球孢白僵菌的菌落中心至边缘 1/2 处,制出 2 个菌饼,以 20 mL 含  $w = 0.05\%$  吐温 80 的无菌水充分洗脱孢子,4 层纱布过滤,磁力悬浮器充分混匀,血球计数板计数,得孢子数量浓度,计算产孢抑制率。

产孢抑制率 = (对照组产孢量 - 处理组产孢量) / 对照组产孢量  $\times 100\%$

## 1.3 苦参碱与球孢白僵菌对烟粉虱的室内毒力测定

利用含  $w = 0.05\%$  的吐温 80 的无菌水将苦

参碱配制成 3.25、6.5、13、26 和 52 mg/L 质量浓度梯度。浸液法测定对烟粉虱的毒力:取带有 2~3 龄若虫的黄瓜叶片,每个叶片保留 30 头,浸泡 10 s,晾干后用保湿棉球包住叶柄,置于培养皿中,保鲜膜封口,膜上扎一些小孔,置光照培养箱 ( $25 \pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,于相对湿度 80%、L:D=14 h:10 h 下培养 48 h,记录若虫死亡数,计算  $\text{LC}_{50}$ 。

用同样方法将球孢白僵菌配制成系列数量浓度  $1 \times 10^7$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1 \times 10^5$  和  $1 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ ,测定其对烟粉虱的毒力,方法同上。培养 5 d 后,记录若虫死亡数,计算  $\text{LC}_{50}$ 。

## 1.4 苦参碱与球孢白僵菌对烟粉虱的联合毒力

将  $\text{LC}_{50}$  的球孢白僵菌与  $\text{LC}_{50}$  的苦参碱以体积比 9:1、4:1、1:1、1:4、1:9 混合均匀,浸液法测定对烟粉虱若虫的致病力,方法同上。培养 5 d 后记录死亡粉虱数,计算  $\text{LC}_{50}$ 、置信区间、毒力回归方程及共毒系数。

毒力指数 (TI) = 标准药剂的  $\text{LC}_{50}$  / 供试药剂的  $\text{LC}_{50} \times 100$

混合药剂的毒力指数 (ATI) = 标准药剂的  $\text{LC}_{50}$  / 混合药剂的  $\text{LC}_{50} \times 100$

混剂理论毒力指数 (TTI) = TI(a)  $\times$  a 在混剂中所占比例 + TI(b)  $\times$  b 在混剂中所占比例

共毒系数 (CTC) = 混剂实际毒力指数 AII / 混剂理论毒力指数 TTI  $\times 100$

## 1.5 苦参碱与球孢白僵菌混配对烟粉虱的田间防效

试验设苦参碱推荐质量浓度、 $1 \times 10^7$  数量浓度的球孢白僵菌和苦参碱 + 球孢白僵菌 (4:1) 3 个处理,各处理 3 个重复,共设 9 个小区,对照组 (CK) 施用相同用量的  $w = 0.05\%$  吐温 80 的清水,按照随机区组排列。利用 3WBD-18 背负式电动喷雾器喷雾,每个小区喷施稀释后的药液

6 L。

调查和统计方法:施药前 1 d 调查烟粉虱基数,药后 1、3、5、7、9 和 14 d 调查活虫数,调查时小区内 5 点取样,每点标定 1 株,统计整株成虫的数量,计算虫口减退率及校正防效。

虫口减退率 = (处理前对照虫量 - 处理后对照虫量) / (处理前对照虫量) × 100%

校正防效 = [1 - (处理前对照虫量 × 处理后处理虫量) / (处理后对照虫量 × 处理前处理虫量)] × 100%

1.6 数据处理

利用 Excel 2010 和 DPS 7.05 软件对数据进行方差分析,以 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

表 2 8 种杀虫剂对球孢白僵菌孢子萌发的影响

Table 2 Effect of eight insecticides on spore germination of *B.bassiana*

杀虫剂 Insecticide	孢子萌发抑制率/% Inhibition rate of spore germination		
	1c	0.2c	0.1c
吡丙醚 Pyriproxyfen	89.76±0.20 Ca	71.13±0.71 Bb	48.03±0.30 Bc
联苯菊酯 Bifenthrin	89.50±0.43 Ca	75.33±0.30 CDb	60.37±0.66 Ac
烯啶虫胺 Nitenpyram	89.24±0.20 Ba	73.75±0.74 Ab	44.88±0.30 Ac
乙基多杀菌素 Spinetoram	81.89±0.26 Ca	54.07±0.26 BCb	27.82±0.26 Dc
印楝素 Azadirachtin	81.63±0.30 Ca	56.69±0.26 Ab	17.32±0.26 Ec
阿维菌素 Abamectin	81.10±0.43 Aa	66.14±0.26 Db	32.28±0.30 Cc
苦参碱 Matrine	74.28±1.01 Da	41.21±0.43 Eb	14.44±0.30 Fc
噻嗪酮 Buprofezin	70.87±0.20 Da	64.30±1.13 Eb	35.70±0.26 Bc

注:1c.推荐浓度;0.2c.5 倍稀释浓度;0.1c.10 倍稀释浓度;数据为“平均数±标准误”。同列不同大写字母及同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

Notes:1c.Recommended concentration; 0.2c.5 times dilution concentration; 0.1c.10 times dilution concentration.Data in the table is mean ±SE.Different uppercase letters in the same column and lowercase letters in the same row indicate significant difference(P< 0.05), respectively.The same below.

2 结果与分析

2.1 8 种杀虫剂对球孢白僵菌孢子萌发、菌丝生长及产孢的影响

由表 2 可以看出,8 种杀虫剂随着稀释倍数的增加,对球孢白僵菌孢子萌发的抑制率逐渐减小,处理间差异显著。在田间推荐浓度下,各杀虫剂对球孢白僵菌的孢子萌发抑制率均较高,除苦参碱和噻嗪酮外均在 80% 以上。在 5 倍稀释浓度下,联苯菊酯、烯啶虫胺和吡丙醚的抑制率高于 70%,其他杀虫剂的抑制率从高到底依次为阿维菌素、噻嗪酮、印楝素、乙基多杀菌素和苦参碱。在 10 倍稀释浓度下,联苯菊酯的抑制率最高,为 60.37%,印楝素和苦参碱最低,分别为 17.32% 和 14.44%。

由表 3 可以看出,8 种杀虫剂随着稀释倍数增加,对球孢白僵菌菌丝生长的抑制率逐渐减小,各处理间存在显著差异。在不同浓度下各杀虫剂对菌丝生长的抑制率均较低。在田间推荐浓度下,各杀虫剂抑制率均为 30%~50%。在 5 倍稀

释浓度下,各杀虫剂的抑制率均低于 40%,苦参碱最低,为 18.96%。在 10 倍稀释浓度下,各杀虫剂的抑制率均小于 30%,苦参碱最小,为 10.17%。

由表 4 可以看出,8 种杀虫剂随着稀释倍数增加,对球孢白僵菌产孢的抑制率逐渐减小,各处理间存在显著差异。在田间推荐浓度下,杀虫剂对产孢的抑制率较高,均在 43% 以上。在 5 倍稀释浓度下,乙基多杀菌素和苦参碱的抑制率较低,分别为 25.91% 和 25.48%。在 10 倍稀释浓度下,联苯菊酯、烯啶虫胺、吡丙醚抑制率为 43.68%~34.26%,其他药剂均在 25% 以下,其中苦参碱最低,为 12.63%。

2.2 苦参碱、球孢白僵菌及其混配对粉虱若虫的室内联合毒力

8 种杀虫剂与球孢白僵菌相容性试验表明,苦参碱对球孢白僵菌的菌丝生长抑制率、产孢抑制率、孢子萌发抑制率均最低,因此选择苦参碱与球孢白僵菌以不同比例混配测定其对粉虱若虫的联合毒力。

由表 5 可以看出,苦参碱和球孢白僵菌对烟粉虱若虫的  $LC_{50}$  分别为 13.35 mg/L 和  $7.86 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ ,二者不同体积比混配的共毒系数均大于 120,其中以 9 : 1 和 4 : 1 混配的最大,分别为

224 和 293,表明其增效作用最显著;随着苦参碱浓度的降低,共毒系数逐渐减小,当以 1 : 9 混合时,共毒系数最低为 160。

表 3 8 种杀虫剂对球孢白僵菌菌丝生长的影响

Table 3 Effect of eight insecticides on mycelial growth of *B.bassiana*

杀虫剂 Insecticide	菌丝生长抑制率/% Inhibition rate of mycelial growth		
	c	0.2c	0.1c
联苯菊酯 Bifenthrin	47.03±0.79 Aa	39.00±0.73 Ab	28.04±0.41 Ac
阿维菌素 Abamectin	46.32±0.40 Aa	35.50±0.86 Bb	24.29±0.49 Cc
吡丙醚 Pyriproxyfen	43.67±0.31 Ba	35.95±0.37 Bb	27.60±0.86 Bc
噻嗪酮 Buprofezin	43.35±0.38 Ba	28.91±0.40 Db	20.77±0.49 Dc
乙基多杀菌素 Spinetoram	42.40±0.35 Ba	35.20±0.49 Bb	28.88±0.73 ABc
烯啶虫胺 Nitenpyram	38.12±0.87 Ca	31.87±0.25 Cb	22.01±0.38 Dc
印楝素 Azadirachtin	34.47±0.16 Da	23.90±0.34 Eb	17.51±0.68 Ec
苦参碱 Matrine	34.79±0.47 Da	18.96±0.63 Fb	10.17±0.17 Fc

表 4 8 种杀虫剂对球孢白僵菌产孢的影响

Table 4 Effect of eight insecticides on sporulation of *B.bassiana*

杀虫剂 Insecticide	产孢抑制率/% Inhibition rate of sporulation		
	c	0.2c	0.1c
吡丙醚 Pyriproxyfen	70.45±0.89 Ca	63.60±0.71 Ab	36.19±0.25 Cc
联苯菊酯 Bifenthrin	70.66±0.41 Ca	58.24±0.30 Bb	43.68±0.95 Ac
烯啶虫胺 Nitenpyram	66.81±0.73 Da	49.68±0.74 Cb	39.19±0.35 Bc
乙基多杀菌素 Spinetoram	45.82±0.24 Ea	25.91±0.26 Db	20.99±0.21 Ec
印楝素 Azadirachtin	77.52±0.21 Aa	52.25±0.26 Cb	19.06±0.25 Ec
阿维菌素 Abamectin	73.66±0.21 Ba	58.89±0.26 Bb	16.27±0.41 Fc
苦参碱 Matrine	43.68±0.95 Ea	25.48±0.43 Db	12.63±0.49 Gc
噻嗪酮 Buprofezin	72.81±0.41 BCa	56.10±1.13 Bb	24.41±0.41 Dc

表 5 苦参碱与球孢白僵菌对烟粉虱若虫的联合毒力

Table 5 The bioassay results of matrine with *B.bassiana*

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient correlation	$LC_{50}$ / (mg/L)	95%置信区间 95% confidence interval	共毒系数 Co-toxicity co-efficient
苦参碱 Matrine	$y=3.69x+1.16$	0.994 6	13.35	9.94~17.91	—
球孢白僵菌 <i>B.bassiana</i>	$y=2.79x+0.32$	0.998 9	7.86	$2.89 \times 10^6 \sim 2.14 \times 10^7$	—
Matrine + <i>B.bassiana</i> (9 : 1)	$y=3.78x+1.62$	0.983 2	5.54	4.450 1~6.901 2	224
Matrine + <i>B.bassiana</i> (4 : 1)	$y=3.96x+1.72$	0.969 3	4.01	3.200 5~3.033 3	293
Matrine + <i>B.bassiana</i> (1 : 1)	$y=3.97x+1.81$	0.989 5	4.73	3.754 6~5.965 7	209
Matrine + <i>B.bassiana</i> (1 : 4)	$y=3.74x+1.80$	0.933 7	5.01	4.025 4~6.205 1	172
Matrine + <i>B.bassiana</i> (1 : 9)	$y=3.69x+1.83$	0.969 0	5.14	4.112 3~6.431 8	160

注:  $y$  为观察机率值,  $x$  为剂量对数  
Note:  $y$ , the observation probability value;  $x$ , the logarithm measurement.

### 2.3 苦参碱与球孢白僵菌混配对烟粉虱的田间防效

由表 6 可以看出,用药 1 d 后,苦参碱的防效最高,为 70.57%,球孢白僵菌与苦参碱混配的防效为 66.32%,单独使用球孢白僵菌的防效为 49.92%。在防治过程中,球孢白僵菌与苦参碱混

合使用的防效在 9 d 后达到最高,防效为 75.81%,在 14 d 后防效降至 68.12%。单独球孢白僵菌在第 9 天后防效最高,为 65.36%。由此看出,菌药混合的防效均优于单独使用苦参碱或菌株的防治效果,且菌药混合使用持效性强。

表 6 低用量苦参碱与球孢白僵菌的混配对烟粉虱的田间防效

Table 6 Field control effects of *B.tabaci* after used of mixed agentia of matrine with *B.bassiana*

处理 Treatment	虫口基数 Insect base number	用药后 1 d 1 d after application		用药后 3 d 3 d after application		用药后 5 d 5 d after application		用药后 7 d 7 d after application		用药后 9 d 9 d after application		用药后 14 d 14 d after application	
		虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reducing rates for the pest	校正防效/% Control efficacy
球孢白僵菌 <i>Bassiana</i>	483	36.85	49.92 Cc	33.95	46.31 Cc	43.89	60.25 Cd	54.87	65.00 Bb	48.45	65.36 Cc	39.54	62.54 Bb
苦参碱 Matrine	453	66.45	70.57 Aa	60.26	64.42 Bb	53.20	62.74 BCc	61.81	65.68 Bb	42.16	55.79 De	35.54	55.47 Dd
<i>B.bassiana</i> + matrine	498	52.61	66.32 Bb	58.43	70.89 Aa	57.23	73.17 Ab	59.84	72.05 Aa	59.24	75.81 Aa	44.78	68.12 Aa
CK	452	-13.27	—	-11.06	—	-25.00	—	-10.62	—	-30.31	—	-44.25	—

注:同列数据后不同大写字母和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平下不同处理间的差异显著性。

Notes: Capital letters and small letters in the same column indicate significant difference among different treatment groups at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

### 3 讨论

中国农业生产中过度依赖化学农药现象非常普遍,从全国来看,2015 年农药使用量约 180.7 万 t,约占世界总用量的一半。农药过量使用不仅拉高农产品生产成本,而且对土壤、空气、水等造成严重污染,从而给人畜健康带来极大危害。因此亟需找到环境友好的化学农药替代品或替代手段来解决农业生产中出现的病虫害问题。生物防治作为一种安全有效的防治手段,近几年越来越受到人们的关注<sup>[14-16]</sup>。但是单一使用生物防治具有防效慢、受外部环境条件影响大、不能应对紧急病虫害的发生等局限性。虫生真菌与杀虫剂的复配使用不仅可以加快防效,还能降低农药用量<sup>[17-18]</sup>,因而成为研究的热点。

本试验在 10 倍稀释浓度下,苦参碱对球孢白僵菌的孢子萌发抑制率、产孢抑制率和菌丝生长抑制率均最低,分别为 14.44%、12.63% 和 10.17%,这与王定锋等<sup>[18]</sup>、熊琦等<sup>[19]</sup>和曹伟平等<sup>[20]</sup>研究结果相一致。本试验表明,苦参碱与球孢白僵菌有协同促进作用,与张英财等<sup>[21]</sup>和 Purwar 等<sup>[22]</sup>的研究结果相同。用苦参碱和球孢白僵菌进行毒力测定和大田防效试验,两者以不同体积比混合后的共毒系数均大于 120,说明混合

药剂都存在明显的增效作用。秦长生等<sup>[23]</sup>、王峰等<sup>[24]</sup>和曹伟平等<sup>[25]</sup>研究表明球孢白僵菌与化学杀虫剂混用具有良好的协同增效作用。

综上所述,球孢白僵菌与稀释 10 倍浓度下的杀虫剂混用防治烟粉虱效果最好,且在参试的 8 种杀虫剂中,苦参碱与球孢白僵菌的协同促进作用最显著。说明化学杀虫剂和真菌制剂复配使用可以提高杀虫效果,从而减少农药用量,降低昆虫抗药性,对环境保护和农业生物防治具有重要意义。

#### 参考文献 Reference:

[1] 张芝利,罗 晨.我国烟粉虱的发生危害和防治对策[J].植物保护,2001,27(2):25-30.  
ZHANG ZH L, LUO CH. Occurrence and control of *Bemisia tabaci* in China [J]. *Plant Protection*, 2001, 27(2):25-30.

[2] 陈连跟.烟粉虱在园林植物上为害及其形态变异[J].上海农学院学报,1997,15(3):186-189.  
CHEN L G. The damage and morphological variations of *Bemisia tabaci* (GENNADIUS) on ornamental plants [J]. *Journal of Shanghai Agriculture College*, 1997, 15(3):186-189.

[3] GENNADIUS P. Disease of tobacco plantations in Trikonja: the aleurodid of tobacco [J]. *Ellenike Georgia*, 1889, 6(5):1-3.

- [4] 周 尧.中国粉虱名录[J].中国昆虫学,1949,3(4):1-18.  
ZHOU Y.Chinese *Bemisia tabaci* list[J].*Chinese Entomology*,1949,3(4):1-18.
- [5] 阎凤鸣.粉虱研究概况[J].北京农学院学报,1990(1):104-108.  
YAN F M.Research overview of *Bemisia tabaci* [J].*Journal of Beijing Agricultural College*,1990(1):104-108.
- [6] 邓业成,徐汉虹.烟粉虱的化学防治及抗性[J].农药,2001,43(1):1-6.  
DENG Y CH,XU H H.Chemical control and resistance of *Bemisia tabaci* [J].*Agrochemicals*,2001,43(1):1-6.
- [7] 任顺祥,邱宝利.中国粉虱及其可持续控制[M].广州:广东省出版集团,2008.  
REN SH X,QIU B L.Whitefly of China and the Sustainable Control [M].Guangzhou:Guangdong Publishing Group,2008.
- [8] 胡琼波.植物保护案例分析教程[M].北京:中国农业出版社,2015.  
HU Q B.Case Study Tutorial of Plant Protection[M].Beijing:China Agricultural Press,2015.
- [9] 袁盛勇,孔 琼,李 珣,等.球孢白僵菌 Bb070817 菌株对番石榴实蝇的室内毒力[J].西北农业学报,2013,22(4):196-200.  
YUAN SH Y,KONG Q,LI X, et al.Virulence determination of *Beauveria bassiana* Bb070817 against *Bactrocera correctra* (Bezzi) in laboratory[J].*Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica*,2013,22(4):196-200.
- [10] WRAIGHT S P,CARRUTHERS RI,JARONSKI ST, et al.Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* for microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*[J].*Biological Control*,2000,17:203-217.
- [11] BOGO M R,ROTA C A,PINTO H, et al.A chitinase encoding gene (*chit1* gene) from the entomopathogen *Metarhizium anisopliae*: isolation and characterization of genomic and full-length cDNA[J].*Current Microbiology*,1998,37(4):221-225.
- [12] 余素红,曾明森,吴光远.球孢白僵菌的研究应用与展望[J].茶业科学技术,2009(3):8-11.  
YU S H,ZENG M S,WU G Y.Research, application and prospect of *Beauveria bassiana* [J].*Tea Science and Technology*,2009(3):8-11.
- [13] 姜 灵,洪 波,王新谱,等.常用杀虫剂与球孢白僵菌的相容性及对温室白粉虱的协同防效[J].植物保护,2018,44(1):199-204.  
JIANG L,HONG B,WANG X P, et al.Compatibility of chemical pesticides with *Beauveria bassiana* and synergistic control effect on *Trialeurodes vaporariorum*[J].*Plant Protection*,2018,44(1):199-204.
- [14] 林华峰.虫生真菌研究进展[J].安徽农业大学学报,1998,25(3):251-251.  
LIN H F.Adances in research on entomology fungi[J].*Journal of Anhui Agricultural University*,1998,25(3):251-251.
- [15] 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):167-173.  
HE H G,LI ZH Y,CHEN B, et al.Current status in basic and applied research on entomopathogenic fungi for pest management[J].*Journal of Yunnan Agricultural University*,2004,19(2):167-173.
- [16] 李 英,张云龙,苗路窑,等.一株分离自感病桑天牛的高毒力球孢白僵菌菌株对 6 种植物病原真菌的拮抗作用研究[J].蚕业科学,2018,44(1):25-31.  
LI Y,ZHANG Y L,MIAO L Y, et al.Antagonistic effect of a high toxicity *Beauveria bassiana* strain isolated from infected *Apriona germari* against six plant pathogens [J].*Science of Sericulture*,2018,44(1):25-31.
- [17] 姜立波,赵亚冬,周兴隆,等.常用杀螨剂与顶孢霉 Ahy1 菌株的相容性及协同作用[J].植物保护,2012,38(5):73-77.  
JIANG L B,ZHAO Y D,ZHOU X L, et al.Boicompatability between *Acremonium hansfordii* and common acaricides and the synergistic effect[J].*Plant Protection*,2012,38(5):73-77.
- [18] 王定锋,李良德,李慧玲,等.5 种植物源农药与球孢白僵菌相容性研究[J].茶叶学报,2015,56(4):244-248.  
WANG D F,LI L D,LI H L, et al.Compatibilities between *Beauveria bassiana* and five botanical pesticides[J].*Acta Tea Sinica*,2015,56(4):244-248.
- [19] 熊 琦,王 旭,朱永敏,等.7 种化学杀虫剂与球孢白僵菌 TST05 菌株的相容性研究[J].植物保护,2012,38(3):108-112.  
XIONG Q,WANG X,ZHU Y M, et al.Compatibility of seven chemical pesticides with *Beauveria bassiana* strain TS05[J].*Plant Protection*,2012,38(3):108-112.
- [20] 曹伟平,宋 健,赵建江,等.球孢白僵菌与 11 种新型化学杀虫剂的相容性评价[J].中国生物防治学报,2016,32(6):749-755.  
CAO W P,SONG J,ZHAO J J, et al.Evaluation of compatibility between *Beauveria bassiana* and 11 new chemical insecticides[J].*Chinese Journal of Biological Control*,2016,32(6):749-755.
- [21] 张英财,农向群,张泽华,等.18 种化学农药与绿僵菌的相容性研究[J].中国生物防治学报,2012,28(2):186-191.  
ZHANG Y C,NONG X Q,ZHANG Z H, et al.Compatibility of eighteen chemical pesticides with *Metarhizium anisopliae*[J].*Chinese Journal of Biological Control*,2012,28(2):186-191.
- [22] PURWAR J P,SACHAN G C.Synergistic effect of entomogenous fungi on some insecticides against Bihar hairy caterpillar *Spilacnea obliqua* (Lepidoptera: Arctidae)[J].*Microbiological Research*,2006,161:38-42.
- [23] 秦长生,徐金柱,谢鹏辉,等.绿僵菌相容性杀虫剂筛选及混用防治椰心叶甲[J].华南农业大学学报,2008(2):44-

46.  
QIN CH SH, XU J ZH, XIE P H, *et al.* Screening of chemical pesticides compatible with *Metarhizium anisopliae* for control of *Brontispa longissima* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2008(2): 44-46.
- [24] 王 峰, 郑鹏飞, 农向群, 等. 球孢白僵菌与 3 种农药对萝卜蚜的协同防效效果[J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33(6): 752-759.  
WANG F, ZHENG P F, NONG X Q, *et al.* Synergistic effect of *Beauveria bassiana* and three pesticides on *Lipaphysium erysimi* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33(6): 752-759.
- [25] 曹伟平, 宋 健, 冯书亮, 等. 球孢白僵菌与低剂量化学杀虫剂对小菜蛾的协同增效作用[J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(3): 1-7.  
CAO W P, SONG J, FENG SH L, *et al.* Synergetic effects of *Beauveria bassiana* with low dosage chemical insecticides against *Plutella xylostella* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34(3): 1-7.

## Virulence and Field Control Effect of *Beauveria bassiana* Mixed with Matrine against *Bemisia tabaci*

XIE Ting, JIANG Ling, HONG Bo, WANG Xinpu and JIA Yanxia

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract** This article is to explore the compatibility of *Beauveria bassiana* with eight insecticides and the control effect of *B. bassiana* with matrine for *Bemisia tabaci*, and provides a reference for integrated control of *B. tabaci* in the greenhouse. Firstly, the compatibility test of eight pesticides with *B. bassiana* was conducted. In the concrete mixing process, blending proportions between matrine and *B. bassiana* of LC<sub>50</sub> are 9 : 1, 4 : 1, 1 : 1, 1 : 4 and 1 : 9, and its virulence was assessed by the co-toxicity coefficient. The results showed that the matrine had the highest compatibility with strains. After being diluted 1 : 10, the inhibition rate of spore germination, mycelial growth and sporulation of *B. bassiana* were 14.44%, 10.17% and 12.63%, respectively. The highest co-toxicity co-efficient was 293 in matrine mixed with *B. bassiana* in the proportion of 4 : 1. In summary, matrine and *B. bassiana* mixed in the ratio of 4 : 1 at the concentration of LC<sub>50</sub> had a significant synergistic effect.

**Key words** *Beauveria bassiana*; Matrine; *Bemisia tabaci*; Compatibility; Co-toxicity co-efficient; Joint virulence

**Received** 2018-07-27

**Returned** 2018-09-03

**Foundation item** The Ningxia 13th Five-Year Plan for Key Research and Development Program (No. 2016BZ09-03).

**First author** XIE Ting, female, master student. Research area: insect ecology and integrated pest control. E-mail: 2366910587@qq.com

**Corresponding author** JIA Yanxia, female, professor. Research area: insect ecology and integrated pest control. E-mail: helenjia\_2006@126.com

(责任编辑: 郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)