

球孢白僵菌与杀螨剂混配对二斑叶螨的毒力测定及其田间防治效果



王好岭^{1,2} 王桂萍² 张伟丽³ 董紫旭¹ 王希波³ 李海天¹
谢丽霞^{1*} 于毅^{2*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100;
3. 山东伟丽种苗有限公司, 济南 250212)

摘要: 为探究球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 与杀螨剂混配对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 的防控作用, 采用 Munger cell 法测定球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯、乙唑螨腈按照不同有效成分比混配后对二斑叶螨的室内毒力及其增效作用, 并测定不同药剂组合对二斑叶螨的田间防治效果。结果表明, 不同杀螨剂对二斑叶螨的室内毒力大小排序为乙唑螨腈>联苯肼酯>球孢白僵菌 ZJU435, LC_{50} 分别为 2.68、9.31 和 29.37 mg/L; 球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯、乙唑螨腈分别以 1:9、3:7、5:5、7:3、9:1 的有效成分比混配后均有显著的增效作用, 其中球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯、乙唑螨腈均以 9:1 有效成分比混配时的共毒系数最高, 分别为 324.61 和 391.80, 增效作用最显著。以 9:1 有效成分比混配时, 12.50、9.50 和 8.00 mg/L 球孢白僵菌+联苯肼酯混配处理后第 10 天的防治效果分别为 84.13%、81.94% 和 77.96%, 8.60、3.60 和 2.40 mg/L 球孢白僵菌+乙唑螨腈混配处理后第 10 天对二斑叶螨的防治效果分别为 89.38%、83.08% 和 79.95%。表明球孢白僵菌 ZJU435 与低剂量联苯肼酯、乙唑螨腈混配可提高对二斑叶螨的防治效果, 减少化学农药的使用量。

关键词: 二斑叶螨; 球孢白僵菌 ZJU435; 联苯肼酯; 乙唑螨腈; 毒力测定; 田间试验

Determination of the virulence of *Beauveria bassiana* mixed with acaricides against two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its field control efficiency

Wang Haoling^{1,2} Wang Guiping² Zhang Weili³ Dong Zixu¹ Wang Xibo³ Li Haitian¹
Xie Lixia^{1*} Yu Yi^{2*}

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China;
3. Shandong Weili Seedling Co., Ltd., Jinan 250212, Shandong Province, China)

Abstract: To explore the control efficacy of *Beauveria bassiana* and acaricide on two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*, we used the Munger cell method to determine the toxicity and synergism indoors with *B. bassiana* ZJU435, bifenthrin, and cyfluthrin. Additionally, we determined the field efficacy of different combinations among *B. bassiana* and acaricides. Indoor results revealed the following toxicity order to *T. urticae*: cyfluthrin>bifenthrin>*B. bassiana* ZJU435, with LC_{50} values of 2.68, 9.31, and 29.37 mg/L, respectively. *B. bassiana* ZJU435 combined with bifenthrin and cyfluthrin showed significant synergistic effects at the ratios of 1:9, 3:7, 5:5, 7:3 and 9:1. The highest co-toxicity coefficients of *B. bassiana* ZJU435 mixed with bifenthrin and cyfluthrin at a ratio of 9:1 were 324.61 and 391.80, respectively, indicating more significant synergistic effects. Field experiments

基金项目: 国家中药材产业技术体系建设专项(CARS-21), 山东省重点研发计划(LJNY202106)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: xielixia2006@163.com, robertyuyi@163.com

收稿日期: 2023-10-31

showed that the control efficacy of *B. bassiana* ZJU435 mixed with bifenazate at concentrations of 12.50, 9.50, and 8.00 mg/L for ten days were 84.13%, 81.94% and 77.96%, respectively. Similarly, the control effects of *B. bassiana* ZJU435 mixed with cyetpyrafen at concentrations of 8.60, 3.60, and 2.40 mg/L for 10 days were 89.38%, 83.08% and 79.95%, respectively. These results suggest that combining *B. bassiana* ZJU435 with low doses of bifenazate and cyetpyrafen could enhance the control efficacy while reducing the amount of chemical acaricides required.

Key words: *Tetranychus urticae*; *Beauveria bassiana* ZJU435; bifenazate; cyetpyrafen; toxicity determination; field experiment

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 隶属叶螨科叶螨属 *Tetranychus*, 是世界范围内重要的农业害螨 (Abdelgaleil et al., 2019; 王然等, 2023)。该害螨分布范围较广, 寄主植物多达 1 100 种以上, 成螨和若螨聚集于叶片背面 (唐小凤, 2014), 刺吸取食叶片汁液, 破坏植物细胞导致叶片发黄凋落, 甚至死亡, 给寄主植物造成了严重损害 (常芸等, 2020; 程作慧等, 2021; 王少丽等, 2023)。目前, 我国对二斑叶螨仍以化学防治为主 (徐丹丹等, 2018), 但由于长期大量使用杀螨剂, 使其对阿维菌素、哒螨灵、联苯菊酯和噁螨酮等均产生了不同水平的抗性, 很难达到理想的防治效果 (杨铭, 2008; Wei et al., 2019; 潘登, 2020), 因此, 亟需寻求一种既能提高杀螨防治效果, 又能减少化学农药使用量, 降低抗性风险的防治方法。

球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 隶属丛梗孢科白僵菌属 *Beauveria*, 是一种重要的虫生真菌 (李子正等, 2022; 况再银等, 2023)。研究表明, 病原真菌与农药混配使用可提高对害虫的防控效果, 如孙佰平等 (2013) 使用球孢白僵菌与低浓度吡虫啉复配防治棉蚜 *Aphis gossypii* 的效果最好且持效期最长; 郭继元等 (2023) 研究发现球孢白僵菌与呋虫胺复配对高粱蚜虫 *Sorghum aphids* 的毒力最强, 致死率达 97.67%, 共毒系数为 135.37; 张国彦等 (2024) 使用金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 与减量的化学农药联用控制玉米草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*, 表现出较好的速效性和持效性。目前, 关于球孢白僵菌与其他药剂混配对二斑叶螨的防治效果未见报道。

球孢白僵菌 ZJU435 菌株不仅具有广谱杀虫性, 同时对柑橘全爪螨 *Panonychus citri*、朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 等螨类有良好的灭杀作用 (武可明等, 2022), 而且该菌株在云南省和广西壮族自治区等地区的茄子、柑橘上均具有良好的田间防治效果 (文静, 2023)。联苯腈酯属于联苯腈类杀螨剂, 对多种植食性害螨均有较好的防治效果 (刘学卿等, 2014)。乙唑螨腈是一类氨基甲酸酯的专性杀螨药,

具有杀卵活性和击倒活性、持效时间长、低毒等优点 (张俊龙等, 2023)。本研究通过测定球孢白僵菌 ZJU435 与联苯腈酯、乙唑螨腈混配对二斑叶螨的毒力, 筛选出具有增效作用的配比, 并进行田间药效验证, 以期将球孢白僵菌与杀螨剂混配应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 二斑叶螨由山东农业科学院植物保护研究所养虫温室提供, 在温室内用盆栽的芸豆苗饲养多代, 选取发育阶段一致的雌成螨进行试验。芸豆购于当地农贸市场。饲养条件为温度 (25±2) °C、相对湿度 (70±5)%、光周期 16 L: 8 D。

供试药剂、试剂及仪器: 100 亿/mL 球孢白僵菌 ZJU435 可分散油悬浮剂, 重庆聚立信生物工程有限公司; 43% 联苯腈酯 (bifenazate) 悬浮剂, 山东炎农生物科技股份有限公司; 30% 乙唑螨腈 (cyetpyrafen) 悬浮剂, 沈阳科创化学品有限公司。试验中所用试剂均为国内分析纯。SMZ745T 双目体视显微镜, 日本尼康株式会社; MTX-25 迷你混合仪, 杭州米欧仪器有限公司; HPG-280HX 人工气候箱, 哈尔滨东联电子技术开发有限公司; 手持纳米喷雾器, 深圳品冠实业有限公司; 农家园 3WBD-20 L 背负式电动喷雾器, 上海三励实业有限公司; Munger cell 生测小室自制, 根据 Munger cell 法改进, 由 3 层面积相同的有机玻璃板和 2 只长尾夹构成, 中间有机玻璃板中心留有圆形空间, 侧面开直径 2 mm 小孔直达圆形空间。

1.2 方法

1.2.1 不同杀螨剂对二斑叶螨的室内毒力测定

使用 Munger Cell 生测小室, 在底部有机玻璃板上垫一层滤纸, 取个体大小相近、无虫新鲜芸豆叶片, 放置在滤纸上, 将 30 头活力较高的二斑叶螨雌成螨放置生测小室内, 每个处理重复 4 次, 处理后的

二斑叶螨放置于温度 25 ℃、相对湿度 70%、光周期 16 L:8 D 的养虫室内。

以无菌水将联苯肼酯和乙唑螨腈药剂进行梯度稀释,联苯肼酯有效成分含量为 59.72、29.86、14.93、7.46、3.73、1.86 和 0.93 mg/L,乙唑螨腈有效成分含量为 25.00、12.50、3.12、1.56、0.78 和 0.39 mg/L。球孢白僵菌 ZJU435 使用含 0.1% 吐温-80 的无菌水分别稀释成 7.5×10^8 、 5×10^8 、 1×10^8 、 2×10^7 、 4×10^6 、 8×10^5 和 1.6×10^5 个/mL,均使用手持纳米喷雾器进行喷施,每个小室喷施 1 mL,在双目体视镜下分别于 24 h 和 48 h 后检查二斑叶螨死亡数量,用小毛笔尖轻触螨体不能爬动者视为死亡。以清水作为空白对照,每个浓度重复 4 次。计算出毒力回归方程、 LC_{50} 以及 95% 置信区间。

1.2.2 混配剂对二斑叶螨的室内毒力测定

根据球孢白僵菌 ZJU435、联苯肼酯和乙唑螨腈对二斑叶螨的 LC_{50} ,将 2.93×10^7 个/mL 球孢白僵菌 ZJU435 分别与 9.31 mg/L 联苯肼酯和 2.68 mg/L 乙唑螨腈按照 1:9、3:7、5:5、7:3、9:1 共 5 个有效成分比进行混配,参考 1.2.1 方法测定不同混配组合对二斑叶螨的 LC_{50} 。利用 SPSS 19.0 软件得出单剂以及混剂的 LC_{50} ,计算毒力指数,毒力指数=标准药剂 LC_{50} /供试药剂 $LC_{50} \times 100$,然后计算共毒系数,共毒系数=混剂实测毒力指数/混剂理论毒力指数 $\times 100$,其中混剂理论毒力指数=A 剂毒力指数 \times A 剂在混剂中的百分含量+B 剂毒力指数 \times B 剂在混剂中的百分含量;混剂实测毒力指数=A 剂 LC_{50} /混剂 $LC_{50} \times 100$ 。共毒系数可以评价农药混剂毒力的作用,当共毒系数数值 ≤ 80 为拮抗作用, $80 <$ 共毒系数数值 ≤ 120 为相加作用, $120 <$ 共毒系数数值为增效作用。

1.2.3 田间药效试验

药效试验在山东省济南市鲁汇丰西瓜产业园西瓜大棚内进行,西瓜品种为果然好,沙壤土,pH 值为 7.1,地力中等,栽培密度 12 000~13 500 株/hm²。根据《农药—田间药效试验准则(一):杀螨剂防治豆类、蔬菜叶螨》(GB/T 17980.17—2000)对室内毒力测定结

果进行分析,选取有效成分比 1:9、5:5、9:1 进行田间防治药效试验,结果显示有效成分比为 9:1 时防治效果最明显。根据预试验结果设置以下处理:(1)以有效成分比为 9:1 将球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯配制成 12.50、9.50 和 8 mg/L 混配剂;(2)以有效成分比为 9:1 将球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈配制成 8.60、3.60 和 2.40 mg/L 混配剂;(3)6.25、1.56 和 0.39 mg/L 乙唑螨腈悬浮剂;(4)14.93、3.73 和 0.93 mg/L 联苯肼酯悬浮剂;(5) 5×10^8 、 1×10^7 和 1.6×10^5 个/mL 球孢白僵菌 ZJU435 可分散油悬浮剂;(6)以清水作空白对照。每个处理小区面积长 5 m \times 宽 2 m,每个处理 5 个重复,各小区间间隔 3 m,随机排列。于 2023 年 6 月 6 日使用农家园 3WBD-20L 背负式电动喷雾器进行全株正反叶面均匀喷雾,喷施量为 2 mL,在喷雾施药前随机选定 6 株西瓜植株主蔓,分别在植株东、南、西、北、中 5 个方位,随机选取 1 片叶调查二斑叶螨药前叶片上活成螨和若螨数量。施药后分别于 3、7 和 10 d 调查叶片上活螨数。根据调查原始数据计算各药剂处理后的虫口减退率和田间防治效果,虫口减退率=(药前虫口基数-药后虫口数量)/药前虫口基数 $\times 100\%$,田间防治效果=(药剂处理虫口减退率-空白对照虫口减退率)/(1-空白对照虫口减退率) $\times 100\%$ 。在试验期间室外最低气温 20~25 ℃,最高气温 30 ℃ 以上,棚内无风。

1.3 数据分析

试验数据使用 Microsoft Excel、SPSS 19.0 软件进行计算和数据分析处理,应用 Duncan 氏新复极差法对各处理间的差异显著性进行检验。

2 结果与分析

2.1 球孢白僵菌与 2 种杀螨剂对二斑叶螨的室内毒力

处理 48 h 后,乙唑螨腈、联苯肼酯对二斑叶螨的 LC_{50} 分别为 2.68 mg/L 和 9.31 mg/L,球孢白僵菌 ZJU435 的 LC_{50} 为 29.37 mg/L,表明乙唑螨腈对二斑叶螨的毒性最高,其次为联苯肼酯(表 1)。

表 1 球孢白僵菌 ZJU435 与 2 种杀螨剂处理 48 h 后对二斑叶螨的室内毒力

Table 1 Indoor toxicity of *Beauveria bassiana* ZJU435 against *Tetranychus urticae* after treatment with two agents for 48 hours

药剂 Insecticide	试虫数 No. of insects tested	LC_{50} (95% 置信区间) LC_{50} (95% confidence interval)/ (mg/L)	毒力回归方程 Virulence regres- sion equation	相关系数 Correlation coefficient
联苯肼酯 Bifenazate	822	9.31(7.57-11.54)	$Y=-0.92+0.95X$	0.91
乙唑螨腈 Cyetpyrafen	839	2.68(2.26-3.13)	$Y=-0.61+1.42X$	0.93
球孢白僵菌 ZJU435 <i>B. bassiana</i> ZJU435	1 050	29.37(12.28-119.50)	$Y=-2.42+0.32X$	0.96

2.2 球孢白僵菌与杀螨剂混配对二斑叶螨的室内毒力

球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯按照 1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1 的有效成分比混配处理后,对二斑叶螨的 LC_{50} 分别为 6.09、7.40、6.41、5.10 和 4.81 mg/L,

共毒系数分别为 160.04、145.35、187.30、266.12 和 324.61,不同混配组合的共毒系数均大于 120,表明均有增效作用,其中有效成分比为 9:1 时的增效作用最显著(表 2)。

表 2 球孢白僵菌 ZJU435 与 2 种杀螨剂混配对二斑叶螨的室内毒力

Table 2 Indoor toxicity of *Beauveria bassiana* ZJU435 mixed with two acaricides against *Tetranychus urticae*

药剂 Insecticide	有效成分比 Effective composition ratio	毒力回归方程 Virulence regression equation	卡方值 Chi-square value	相关系数 Correlation coefficient	95% 置信区间 95% confidence interval	LC_{50} / (mg/L)	共毒系数 Co-toxicity coefficient
球孢白僵菌+	1:9	$Y=-0.71+0.90X$	1.98	0.92	3.94-13.69	6.09	160.04
联苯肼酯	3:7	$Y=-0.66+0.75X$	1.52	0.92	4.37-23.69	7.40	145.35
<i>B. bassiana</i> +	5:5	$Y=-0.58+0.72X$	1.26	0.93	3.91-17.38	6.41	187.30
bifenazate	7:3	$Y=-0.31+0.45X$	0.42	0.94	2.46-46.28	5.10	266.12
	9:1	$Y=-0.48+0.71X$	0.60	0.96	3.03-9.44	4.81	324.61
球孢白僵菌+	1:9	$Y=-0.08+0.81X$	2.00	0.93	0.87-2.23	1.26	232.27
乙唑螨腈	3:7	$Y=-0.07+0.67X$	1.03	0.93	0.77-2.89	1.27	283.17
<i>B. bassiana</i> +	5:5	$Y=-0.14+0.60X$	0.98	0.92	1.00-4.94	1.71	270.38
cyetpyrafen	7:3	$Y=-0.35+1.08X$	1.50	0.95	1.56-3.19	2.14	305.30
	9:1	$Y=-0.41+0.92X$	1.69	0.94	1.96-4.31	2.82	391.80

球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈按照 1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1 有效成分比混配处理后,对二斑叶螨的 LC_{50} 分别为 1.26、1.27、1.71、2.14 和 2.82 mg/L,共毒系数分别为 232.27、283.17、270.38、305.30 和 391.80,不同混配组合的共毒系数均大于 120,表明均具有增效作用,其中有效成分比为 9:1 时的共毒系数最高(表 2)。

2.3 混配杀螨剂对二斑叶螨田间防治效果

田间条件下,联苯肼酯和乙唑螨腈施用后 7 d 对二斑叶螨的防治效果最高,14.93、3.73 和 0.93 mg/L 联苯肼酯的防治效果分别为 81.30%、73.94% 和 64.47%,6.25、1.56 和 0.39 mg/L 乙唑螨腈的防治效果分别为 82.72%、77.20% 和 67.14%; 5×10^8 、 1×10^7 和 1.6×10^5 个/mL 球孢白僵菌施用 10 d 后的防治效果最高,分别为 80.35%、75.41% 和 72.76%(表 3)。

在有效成分比为 9:1 时,不同浓度的球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯、乙唑螨腈混配剂均在 10 d 时的防治效果最高,球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯混配浓度为 12.50、9.50 和 8.00 mg/L 时防治效果分别为 84.13%、81.94% 和 77.96%; 球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈混配浓度为 8.60、3.60 和 2.40 mg/L 时防治效果分别为 89.38%、83.08% 和 79.95%。表明混配剂防治效果显著高于单剂防治效果,其中球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈混配防治效果更加显著(表 3)。

3 讨论

本研究选择球孢白僵菌 ZJU435、联苯肼酯和乙唑螨腈对二斑叶螨进行室内毒力测定,结果发现,乙唑螨腈对二斑叶螨的毒力最高, LC_{50} 值在 2.26~3.13 mg/L 之间,其次是联苯肼酯,球孢白僵菌 ZJU435 对二斑叶螨的室内毒力最低, LC_{50} 值为 29.37 mg/L,与宫亚军等(2017)研究结果类似,即乙唑螨腈对二斑叶螨成螨具有很好的防治效果,且毒力效果明显优于联苯肼酯。蒋立奔等(2019)研究也发现与联苯肼酯相比,乙唑螨腈对二斑叶螨具有更好的击倒活性。本研究结果显示,球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯和乙唑螨腈混配均表现出良好的增效作用,其中按照有效成分比 9:1 混配的增效更明显,混配溶液使用化学药剂浓度较低,效果较显著,可能由于球孢白僵菌配比更高,其分生孢子萌发穿透并破坏二斑叶螨体壁,使杀螨剂更容易进入体内将其杀死。郑庆伟(2023)也得到类似结果,其测定了四唑虫酰胺与球孢白僵菌混配对草地贪夜蛾的防治效果,发现以有效成分比 9:1 和 4:1 配比使用时共毒系数分别为 738.50 和 421.19,均表现出增效作用,且 9:1 配比时增效作用更明显。武可明等(2022)采用白僵菌与乙唑螨腈混配防治柑橘全爪螨,发现按照制剂体积比 10:1 配比时其共毒系数最高,混配农药田间防治效果优于单剂农药。这表明球孢白僵菌与农药混配防治害虫具有明显效果,降低了农药的使用量,提高了白僵菌的防治效果,一

一定程度上达到高效、低毒的目的。

表3 球孢白僵菌 ZJU435 与 2 种杀螨剂混配对二斑叶螨的田间防治效果

药剂 Insecticide	浓度 Concentration	药前虫数 No. of insects before treatment	3 d		7 d		10 d	
			虫口减退率 Decline Rate	防治效果 Relative efficacy	虫口减退率 Decline rate	防治效果 Relative efficacy	虫口减退率 Decline rate	防治效果 Relative efficacy
乙唑螨腈 Cyetpyrafen/(mg/L)	6.25	1 144	71.74±1.28	75.63±1.73 a	78.68±0.17	82.72±0.86 a	76.82±0.90	80.91±1.24 a
	1.56	1 350	62.15±0.56	72.02±0.79 b	71.11±1.63	77.20±1.87 b	65.19±0.29	73.62±0.62 b
	0.39	891	54.20±0.51	59.94±0.30 c	65.13±0.46	67.14±0.94 c	58.19±0.37	64.62±0.39 c
联苯肼酯 Bifenazate/(mg/L)	14.93	1 158	69.60±0.59	71.82±0.63 a	74.78±0.23	81.30±1.51 a	71.02±0.61	79.03±1.79 a
	3.73	1 116	59.50±0.76	69.43±2.37 a	67.94±0.12	73.94±0.48 b	63.23±0.79	71.88±1.44 b
	0.93	914	54.23±1.25	60.18±2.09 b	62.04±0.93	64.47±1.26 c	59.75±0.38	63.17±1.02 c
球孢白僵菌 ZJU534 <i>B. bassiana</i> ZJU435/ (个/mL)	5.0×10 ⁸	2 195	60.44±1.58	67.91±1.76 a	69.80±0.58	78.05±1.39 a	77.85±0.67	80.35±1.07 a
	1.0×10 ⁷	1 882	54.78±0.60	63.02±1.46 b	62.70±0.10	70.16±0.60 b	70.30±0.19	75.41±0.91 b
	1.6×10 ⁵	1 442	51.68±1.20	58.90±1.03 c	58.14±1.25	64.18±1.31 c	66.49±0.52	72.76±0.85 b
球孢白僵菌+乙唑螨腈 <i>B. bassiana</i> + Cyetpyrafen/(mg/L)	8.60	1 136	67.14±0.64	73.78±1.07 a	75.85±0.36	82.18±0.63 a	87.72±0.49	89.38±1.46 a
	3.60	830	62.26±0.28	68.75±0.82 b	71.08±0.49	79.39±0.99 b	78.73±0.60	83.08±0.46 b
	2.40	1 205	58.36±1.03	66.79±0.70 c	67.96±0.20	76.48±0.88 c	75.26±0.61	79.95±0.81 c
球孢白僵菌+联苯肼酯 <i>B. bassiana</i> +bifenazate/ (mg/L)	12.50	1 354	60.75±1.17	68.82±1.23 a	71.38±0.57	78.84±0.98 a	81.25±0.12	84.13±0.76 a
	9.50	1 507	60.20±1.26	66.81±1.89 b	68.64±0.37	75.55±0.69 b	77.71±0.14	81.94±0.70 b
	8.00	1 053	55.88±0.93	64.46±1.01 c	64.99±1.15	73.69±1.08 c	72.90±0.15	77.96±0.92 c
对照 CK	-	1 034	-26.24±1.90	-	-72.33±2.35	-	-93.09±1.18	-

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$).

本研究结果显示,田间条件下,球孢白僵菌 ZJU435 与杀螨剂混配的防治效果仅次于单剂防治效果,球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯混配药剂处理后 7 d 防治效果为 78.84%, 10 d 防治效果达 84.13%, 球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈混配药剂处理后 7 d 防治效果为 82.18%, 10 d 防治效果达 89.38%, 表明球孢白僵菌 ZJU435 与乙唑螨腈为防治二斑叶螨的最佳药剂组合,有较高的防治效果。谢婷等(2019)用球孢白僵菌、苦参碱以及球孢白僵菌与苦参碱混配剂处理烟粉虱 *Bemisia tabaci* 后 9 d 的防治效果分别为 65.36%、55.79% 和 75.81%, 说明球孢白僵菌与杀螨剂混配的防治效果均高于单剂,且混配药剂持效期较长,与本试验结果相似。

球孢白僵菌广泛应用于农林害虫生物防治,与化学药剂比较,杀虫用时较长,防治效果易受环境影响。将球孢白僵菌和减量的化学农药混合使用,化学农药快速削弱了虫体对球孢白僵菌的抵御能力,更有益于球孢白僵菌的侵入,有效弥补了真菌杀虫剂致死缓慢的难题,缩短了杀虫时间,提高了杀虫效率;同时萌发的球孢白僵菌孢子穿透昆虫体壁,破坏了虫体的物理屏障,其菌丝在体内侵染扩增,严重干扰和削弱了昆虫的免疫系统和生理机能,有效削弱

了虫体对化学农药的抵御能力,二者结合可有效缓解二斑叶螨对化学农药的抗性风险。本研究发现,低剂量的杀螨剂与球孢白僵菌 ZJU435 混配对二斑叶螨有显著的防治效果,为提高杀螨田间防治效果和减少化学农药用量提供参考。

参 考 文 献 (References)

- Abdelgaleil SAM, Badawy MEI, Mahmoud NF, Marei AESM. 2019. Acaricidal activity, biochemical effects and molecular docking of some monoterpenes against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 156: 105–115
- Chang Y, Wang CQ, Shang SQ. 2020. Effect of sublethal mass concentration of bifenazate on detoxification enzymes of *Tetranychus urticae*. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1146–1154 (in Chinese) [常芸, 王常清, 尚素琴. 2020. 联苯肼酯亚致死质量浓度对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 解毒酶系的影响. *植物保护学报*, 47(5): 1146–1154]
- Cheng ZH, Fan FF, Wang Q, Liu Q, Zhang P, Li R, Li SC. 2021. Bioactivities of citronella oil microemulsion against *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) and its effect on the detoxification enzyme activities *Journal of Plant Protection*, 48(4): 914–920 (in Chinese) [程作慧, 樊芳芳, 王旗, 刘庆, 张鹏, 李锐, 李生才. 2021. 香茅精油微乳液对朱砂叶螨的生物活性及其解毒酶系活性的影响. *植物保护学报*, 48(4): 914–920]

- Gong YJ, Chen JC, Jiang JY, Wang ZH, Cao LJ, Wei SJ. 2017. Toxicity and field control efficacy of the new acaricide SYP-9625 to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Agrochemicals*, 56(8): 561–563, 572 (in Chinese) [宫亚军, 陈金翠, 姜傢耀, 王泽华, 曹利军, 魏书军. 2017. 新型杀螨剂乙唑螨腈对二斑叶螨的毒力及田间防效. *农药*, 56(8): 561–563, 572]
- Guo JY, Pan CB, Pan ZP, Zhang XM, Chen XJ, Wang XW, Tang JH, Yan S, Wu SY. 2023. Synergistic control effect of three agents and *Beauveria bassiana* on sorghum aphids. *Chinese Journal of Biological Control*, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2023.01.047 (in Chinese) [郭继元, 潘昌滨, 潘自平, 张锡梅, 陈晓杰, 王小武, 唐继洪, 严森, 吴圣勇. 2023. 三种药剂与球孢白僵菌对高粱蚜虫的协同控制作用. *中国生物防治学报*, DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2023.01.047]
- Jiang LB, Cao RX, Tong XL, Chen YH, Han JL, Guo CB. 2019. Indoor toxicity test and field efficacy of different acaricides against *Tetranychus urticae* Koch. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 47(23): 116–118 (in Chinese) [蒋立奔, 曹荣祥, 童晓利, 陈月红, 韩金龙, 郭成宝. 2019. 不同杀螨剂对二斑叶螨的室内毒力及田间防效. *江苏农业科学*, 47(23): 116–118]
- Kuang ZY, Tong W, Sun P, Zeng HL, Ye PS, Zhao XY, Long YM. 2023. Research progress in infection characteristics and application of *Beauveria bassiana*. *Microbiology China*, 50(7): 3187–3197 (in Chinese) [况再银, 童文, 孙佩, 曾华兰, 叶鹏盛, 赵馨怡, 龙艳梅. 2023. 球孢白僵菌的侵染特性及应用研究进展. *微生物学通报*, 50(7): 3187–3197]
- Li ZZ, Zhang LL, Chu PF, Yang J, Hua XW, Guo SJ, Liu TT, Jiang HL. 2022. Research progress on plant endophytism and its application characteristics of *Beauveria bassiana*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 50(10): 1–8 (in Chinese) [李子正, 张蕾蕾, 褚鹏飞, 杨婧, 华学文, 郭尚敬, 刘婷婷, 姜会岭. 2022. 球孢白僵菌植物内生性及其应用特性研究进展. *江苏农业科学*, 50(10): 1–8]
- Liu XQ, Wang HT, Wang YZ. 2014. Field control effect of 48% bifentazate on three apple mites. *China Fruits*, (6): 53–55, 75 (in Chinese) [刘学卿, 王洪涛, 王英姿. 2014. 48%联苯肼酯对3种苹果害螨的田间防治效果. *中国果树*, (6): 53–55, 75]
- Pan D. 2020. Monitoring of pyridaben resistance of *Panonychus citri* and identification of its stress response genes. Master thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [潘登. 2020. 柑橘全爪螨哒螨灵抗性监测及其胁迫响应基因的鉴定. 硕士学位论文论文. 重庆: 西南大学]
- Sun BP, Du Q, Zhao SF, Wang CJ, Wang ZX. 2013. Screening of optimum proportion of *Beauveria bassiana* CXJ-1 complex with imidacloprid and its control effect to *Aphis gossypii* in field. *China Cotton*, 40(5): 8–12 (in Chinese) [孙佰平, 杜琴, 赵思峰, 王春娟, 王志霞. 2013. 球孢白僵菌CXJ-1与吡虫啉防治棉蚜配方筛选和田间防治效果. *中国棉花*, 40(5): 8–12]
- Tang XF. 2014. Study on drug resistance monitoring and sublethal effect of *Tetranychus urticae*. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [唐小凤. 2014. 二斑叶螨的抗药性监测及其亚致死效应研究. 硕士学位论文论文. 北京: 中国农业科学院]
- Wang R, Li YY, Luo C. 2023. *Tetranychus urticae* hazard symptom identification. *Vegetables*, (7): 83–84, 89 (in Chinese) [王然, 李昀忆, 罗晨. 2023. 二斑叶螨的识别与防治. *蔬菜*, (7): 83–84, 89]
- Wang SL, Liu LJ, He BQ, Wu QJ. 2023. Important pests of protected strawberries in northern China and their integrated control techniques. *China Vegetables*, (8): 128–132 (in Chinese) [王少丽, 刘立娟, 何秉青, 吴青君. 2023. 北方设施草莓重要害虫及其综合防治技术. *中国蔬菜*, (8): 128–132]
- Wei P, Chen M, Nan C, Feng KY, Shen GM, Cheng JQ, He L. 2019. Downregulation of carboxylesterase contributes to cyflumetofen resistance in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Pest Management Science*, 5(8): 2166–2173
- Wen J. 2023. Application of *Beauveria* spp. for agricultural pest management. *Guangxi Plant Protection*, 36(2): 20–22 (in Chinese) [文静. 2023. 白僵菌在农业害虫防治中的应用. *广西植保*, 36(2): 20–22]
- Wu KM, Li BC, Zhou L, Zhang YM, He P, Peng GX, Xia YX. 2022. Joint toxicity of *Beauveria bassiana* ZJU435 and cyetpyrafen against *Panonychus citri*. *Plant Health and Medicine*, 1(1): 84–89 (in Chinese) [武可明, 李白成, 周林, 张谊模, 何平, 彭国雄, 夏玉先. 2022. 球孢白僵菌ZJU435与乙唑螨腈对柑橘全爪螨的联合毒力. *植物医学*, 1(1): 84–89]
- Xie T, Jiang L, Hong B, Wang XP, Jia YX. 2019. Virulence and field control effect of *Beauveria bassiana* mixed with matrine against *Bemisia tabaci*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 28(5): 830–836 (in Chinese) [谢婷, 姜灵, 洪波, 王新谱, 贾彦霞. 2019. 球孢白僵菌与苦参碱混配对烟粉虱的毒力与田间防效. *西北农业学报*, 28(5): 830–836]
- Xu DD, Zhang YJ, Xie W, Wu QJ, Wang SL. 2018. CAPS marker monitoring abamectin resistance in two spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Plant Protection*, 45(4): 782–787 (in Chinese) [徐丹丹, 张友军, 谢文, 吴青君, 王少丽. 2018. 二斑叶螨对阿维菌素抗性的CAPS标记. *植物保护学报*, 45(4): 782–787]
- Yang M. 2008. Study on resistance monitoring and mechanism of bifenthrin resistance of *Tetranychus urticae*. Master thesis. Changsha: Hunan Agricultural University (in Chinese) [杨铭. 2008. 二斑叶螨抗药性监测及对联苯菊酯抗性机理研究. 硕士学位论文论文. 长沙: 湖南农业大学]
- Zhang GY, Hao R, Xu YW, Han JH, Du GZ. 2024. Control effect of biological pesticides combined with reduced chemical pesticides on *Spodoptera exigua* in grassland. *China Plant Protection*, 44(1): 87–89 (in Chinese) [张国彦, 郝瑞, 徐永伟, 韩景红, 杜桂芝. 2024. 生物农药与减量化学农药联用对草地贪夜蛾的防控效果. *中国植保导刊*, 44(1): 87–89]
- Zhang JL, Liu SW, Song YQ. 2023. Bioactivity of mixtures of cyetpyrafen and fluazinam to citrus red mite. *Agrochemicals*, 62(7): 526–529 (in Chinese) [张俊龙, 刘少武, 宋玉泉. 2023. 乙唑螨腈与氟啶胺混配对柑橘全爪螨的防治效果. *农药*, 62(7): 526–529]
- Zheng QW. 2023. *Beauveria bassiana* mixed with tetraniliprole 9:1 had the most obvious synergic effect on *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Market News*, (16): 49 (in Chinese) [郑庆伟. 2023. 球孢白僵菌与四唑虫酰胺9:1混配对草地贪夜蛾增效作用最明显. *农药市场信息*, (16): 49]