

蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂对枸杞棉蚜的防效及温湿度对药效的影响*

郭佳茹^{1**} 洪波¹ 柴军发¹ 王小龙¹
蒲占悦¹ 王芳² 贾彦霞^{1***}

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 宁夏农林科学院植物保护研究所, 银川 750002)

摘要 【目的】确定蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂在防治枸杞棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 的高效性和重要性, 为科学安全防治枸杞棉蚜提供理论依据。【方法】采用浸渍法测定棉蚜的室内毒力效果, 利用五点取样法调查温室防治效果, 通过培养箱控制温度、饱和盐溶液控制湿度测定温湿度对药效的影响。【结果】两种蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂 1#和 2#在处理时间为 120 h 的室内毒力效果最明显, LC_{50} 分别为 1.21×10^5 cfu/mL 和 2.08×10^5 cfu/mL。田间施药后第 14 天, 两种制剂各浓度间有显著性差异, 防效最好的是 1#制剂浓度 4×10^6 cfu/mL 和 2×10^6 cfu/mL, 致死率分别为 97.89%和 97.87%。两种制剂适应的最佳温度有差异, 1#制剂发挥药效的最适温度是 25 °C和 28 °C, 其第 5 天的校正死亡率分别为 96.34%、94.09%。2#制剂发挥药效的最适温度是 28 °C, 其最高校正死亡率为 93.03%。两种制剂在相同相对湿度条件下无明显差异, 处理 5 d 后, 其最适宜的相对湿度是 67%及以上, 棉蚜死亡率达到 90%以上; 两种制剂在相对湿度为 30%左右时的棉蚜死亡率在 70%左右。总体而言, 相对湿度对两种蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂会产生一定的影响, 但是制剂依旧会对棉蚜产生毒力。【结论】蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂对棉蚜具有良好的防治效果且温湿度影响对其药效的影响较小, 可作为有效防控棉蚜种群的重要真菌杀虫剂。

关键词 棉蚜; 蜡蚧轮枝菌; 可分散油悬浮剂; 室内毒力; 田间防效; 温湿度影响

Effects of temperature and humidity on the effectiveness of a dispersible oil suspension of *Lecanicillium lecanii* to control *Aphis gossypii*

GUO Jia-Ru^{1**} HONG Bo¹ CHAI Jun-Fa¹ WANG Xiao-Long¹
PU Zhan-Yue¹ WANG Fang² JIA Yan-Xia^{1***}

(1. School of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Institute of Plant Protection, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract 【Objectives】To determine the effectiveness of a dispersible oil suspension of *Lecanicillium lecanii* for the control of *Aphis gossypii*. 【Methods】The toxicity of the suspension to *A. gossypii* was determined by the impregnation method and its effectiveness in a greenhouse by the five-point sampling method. The effect of temperature and humidity on its toxicity was determined by conducting trials under controlled temperature and humidity. 【Results】Two dispersible oil suspensions of *L. lecanii* (1and 2) were found to be the most toxic after 120 h with LC_{50} values of 1.21×10^5 cfu/mL and 2.08×10^5 cfu/mL, respectively. There was a significant difference in the concentrations of the two formulations on the 14th day after application in the field. The best protection was provided by 4×10^6 cfu/mL and 2×10^6 cfu/mL of formulation 1, which had

*资助项目 Supported projects: 宁夏回族自治区农业科技自主创新资金“十四五”农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目 (NGSB-2021-10-04)

**第一作者 First author, E-mail: guojiaru312@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: helenjia_2006@126.com

收稿日期 Received: 2022-09-29; 接受日期 Accepted: 2023-02-20

a lethality of 97.89% and 97.87%, respectively. There were also differences in the optimal temperatures for the two formulations. The optimal temperatures for Formulation 1 were 25 °C and 28 °C, at which the adjusted mortality rates on the 5th day of 96.34% and 94.09%, respectively. The optimum temperature for Formulation 2 was 28 °C, at which the highest corrected mortality rate was 93.03%. There was no significant difference between the two formulations under the same relative humidity conditions; the optimum relative humidity was 67% of higher 5 days after treatment at which mortality was > 90%. Mortality for both treatments was around 70% at a relative humidity of about 30%. **[Conclusion]** Dispersible oil suspensions of *L. lecanii* are highly toxic to *A. gossypii* and ambient temperature and humidity have little effect on their toxicity to this pest. Such dispersible oil suspensions therefore appear to be a useful fungal insecticide for controlling *A. gossypii* populations.

Key words *Aphis gossypii*; *Lecanicillium lecanii*; oil dispersion; laboratory toxicity; field prevention effectiveness; temperature and humidity conditions

枸杞 *Lycium barbarum* 是宁夏优势农产品产业之一, 其药效和营养价值都位居国内前列, 但是病虫害对枸杞产量和品质危害极其严重, 其中枸杞蚜虫是危害枸杞产量和品质的重要因素之一, 而棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 是危害枸杞的蚜虫优势种群 (张润志和张蓉, 2016)。棉蚜属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae, 主要通过刺吸式口器吸取植物汁液从而导致叶片扭曲、枯萎, 影响植物正常生长、发育, 导致产量和品质下降 (方涛等, 2021; 王小丽等, 2022)。棉蚜在吸取植物汁液时会分泌蜜露影响植物的光合作用和呼吸作用, 从而引起煤污病, 同时会向植物传播病毒, 影响植物正常生长发育 (Ferry *et al.*, 2004; Kim, 2007; 马亚杰等, 2019)。近年来, 棉蚜防治主要通过化学农药达到防治效果, 化学农药具有易残留、持效短等特点, 会导致环境污染、昆虫产生抗药性等问题日益严重, 因此开发利用微生物农药对防治棉蚜意义重大 (许冬等, 2016; 李娜等, 2021; 谢佳燕等, 2022)。

在微生物农药中, 昆虫病原真菌具有易侵染寄主、寄生时间长、寄主不易产生抗性等优势, 因此, 昆虫病原真菌在防治害虫方面意义重大 (蔡春霞等, 2018; 黄鹏等, 2022)。例如利用蜡蚧菌 *Lecanicillium* 防治桃蚜 *Myzus persicae* (刘明科等, 2020)、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (陈宇平等, 2010)、蓟马 *Thrips* (黄鹏等, 2022) 和枸杞蚜虫 *Aphis* sp. (刘浩等, 2012), 利用球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 防治草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (温绍海等, 2022) 和双线卷裙夜蛾 *Spodoptera bilinealis* (关朝阳等, 2022), 利用莱

氏绿僵菌 *Metarhizium rileyi* 防治草地贪夜蛾 (丁雪玲等, 2022), 利用金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 防治棉蚜 (张秀霞等, 2020) 等。虽然昆虫病原真菌对害虫有较强的致病性, 但是温度、湿度等环境因素对其药效发挥有一定的限制, 防治效果没有保证 (谷祖敏等, 2013; 王海鸿等, 2020), 为了能使真菌稳定发挥防治效果和防效持久性, 研究者将其与助剂结合制备成真菌制剂 (朱海霞和马永强, 2019)。研究表明, 将真菌孢子与油性介质结合可以增加其贮藏时间、防治效果及药效稳定性, 例如刀孢蜡蚧菌 *Lecanicillium psalliotae* 油剂对苹果黄蚜 *Aphis citricola* 具有高毒力 (邵云飞等, 2022), 绿僵菌油悬浮剂对草地贪夜蛾具有高效防治作用 (徐翔等, 2020)。

目前, 真菌制剂主要以球孢白僵菌和绿僵菌为主, 蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii* 真菌制剂防治害虫相关研究较少, 研究空间较大 (郭佳茹等, 2023)。本研究选择宁夏大学农业昆虫与害虫防治实验室提供的两种蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂 (Oil dispersion, OD), 研究两种制剂对枸杞棉蚜的室内毒力及田间防效, 同时研究不同的温湿度条件对两种制剂侵染枸杞棉蚜的影响, 确定其发挥药效的最佳浓度及温湿度, 为进一步科学、安全防治枸杞棉蚜提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

制剂配方: 蜡蚧轮枝菌 OD 制剂配方由宁夏

大学农业昆虫与害虫防治实验室提供, 1#制剂为大豆油体系, 2#制剂为油酸甲酯体系。

供试虫源: 棉蚜无翅成虫采自宁夏农林科学院枸杞工程技术研究所试验基地, 均为自然种群, 试验期间不喷施任何药剂, 确保试虫不受任何药剂干扰。

1.2 蜡蚧轮枝菌制剂对棉蚜的室内毒力试验

室内毒力测定采用浸渍法。将蜡蚧轮枝菌 OD 制剂用蒸馏水稀释 5 个浓度梯度, 分别为 2.5×10^5 、 5×10^5 、 1×10^6 、 2×10^6 和 4×10^6 cfu/mL, 以蒸馏水为空白对照。挑选健康、大小一致的无翅棉蚜成虫浸渍 5 s 后, 晾干后放入培养皿, 做保湿处理后用保鲜膜封住皿口并用昆虫针扎 10-20 小孔, 每皿用毛笔接 30 头虫, 每处理重复 3 次 (郭佳茹等, 2023)。将处理的棉蚜置于温度 (25 ± 1) °C、相对湿度 60%-70%、光周期 16L : 8D 的人工气候培养箱中培养。24、48、72、96 和 120 h 后检查死亡率, 计算致死中浓度。

1.3 蜡蚧轮枝菌制剂对棉蚜的温室防效测定

试验采用完全随机设计, 温室总面积 32 m², 用药前划分处理组, 每处理组面积为 3 m², 每组 3 株植株, 进行初始虫量调查。每种制剂设 3 个浓度, 分别是 1×10^6 、 2×10^6 和 4×10^6 cfu/mL, 共设 7 个处理, 6 个药剂处理, 1 个清水空白对照, 每处理重复 3 次。试验期间, 棚内正常管理, 于处理后 1、3、5、7、10 和 14 d 后分别调查虫口密度, 计算其虫口减退率及防治效果。计算公式如下:

虫口减退率 = (施药前虫数 - 施药后虫数) / 施药前虫数 × 100%,

防治效果 = (施药区虫口减退率 - 对照区虫口减退率) / (1 - 空白对照区虫口减退率) × 100%。

1.4 温度对蜡蚧轮枝菌制剂药效影响

根据 1.2 试验结果, 分别以制剂 1#和 2#的 LC₅₀ 作为处理浓度, 以蒸馏水为空白对照。挑选健康、大小一致的无翅棉蚜成虫浸渍 5 s 后, 晾干后放入培养皿, 做保湿处理后用保鲜膜封住皿口并用针扎 10-20 小孔, 每皿用毛笔接 30 头虫,

分别设置 20、22、25、28 和 30 °C 5 个温度梯度, 每处理重复 3 次 (窠亚楠等, 2022)。于 80% 湿度下每日观察记录各温度条件下棉蚜的发病情况, 连续观察 5 d, 计算其校正死亡率。

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%。

1.5 湿度对蜡蚧轮枝菌制剂药效影响

根据 1.2 试验结果, 分别以制剂 1#和 2#的 LC₅₀ 作为处理浓度, 以蒸馏水为空白对照。挑选健康、大小一致的无翅棉蚜成虫浸渍 5 s 后, 晾干后放入培养皿, 做保湿处理后用保鲜膜封住皿口并用针扎 10-20 小孔, 每皿用毛笔接 30 头虫, 处理后采用饱和盐溶液控制法控制湿度 (白云, 2016; Athanassiou *et al.*, 2017; Acheampong *et al.*, 2020), 放入人工气候箱控制温度, 分别设置 34%、50%、67% 和 93% 4 个湿度梯度 (表 1), 每处理重复 3 次。于 25 °C 温度下每日观察记录各湿度条件下棉蚜的发病情况, 连续观察 5 d, 计算其校正死亡率。

1.6 数据处理

试验数据用 DPS 和 Excel 软件计算毒力回归方程、LC₅₀ 值、95% 置信区间、校正死亡率、虫口衰退率及防治效果, 以 Duncan's 新复极差法进行多重比较, Origin 2021 64Bit 作图。

表 1 各饱和盐溶液的相对湿度

Table 1 Relative humidity of each saturated salt solution

试剂 Reagent	相对湿度 Relative humidity	生产厂家 Manufacture
MgCl ₂	34%	天津市大茂化学试剂厂
Ca(NO ₃) ₂	50%	天津市北联精细化学品开发有限公司
NH ₄ NO ₃	67%	北京红星化工厂
KNO ₃	93%	烟台市双双化工有限公司

2 结果与分析

2.1 室内毒力测定

两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对棉蚜的室内毒力结果见表 2。试验结果表明, 两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对棉蚜均有毒力作用且随着处理时间的

增加毒力效果越明显, 其中处理时间为 120 h 毒力效果最明显, 1#和 2#OD 制剂的 LC_{50} 分别为 1.21×10^5 cfu/mL 和 2.08×10^5 cfu/mL。在处理时间为 24 h 和 48 h 时, 2#OD 制剂比 1#OD 制剂的毒力效果明显, 其 LC_{50} 分别为 1.17×10^7 cfu/mL 和 2.66×10^6 cfu/mL。在处理时间为 72 h 时, 两种制剂毒力效果无明显差异。在处理时间为 96 h 和 120 h 时, 1#OD 制剂的毒力效果比较好, 其 LC_{50} 分别为 2.38×10^5 cfu/mL 和 1.21×10^5 cfu/mL。综上所述, 1#OD 制剂随着处理时间增加, 毒力效果越明显, 2#OD 制剂在处理前期效果较显著。

表 2 两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对棉蚜的室内毒力测定
Table 2 Laboratory toxicity of two dispersible oil suspension agents of *Lecanicillium lecanii* against *Aphis gossypii*

处理 Treatment	处理时间 (h) Treatment time (h)	LC_{50} (95%置信限) (cfu/mL) LC_{50} (95% confidence interval) (cfu/mL)	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 r Correlation coefficient	χ^2	P
1#	24	$4.58\times 10^7(1.00\times 10^7-1.85\times 10^{10})$	0.55±0.17	0.961 6	0.85	0.84
	48	$5.90\times 10^6(2.89\times 10^6-3.87\times 10^7)$	0.60±0.15	0.986 6	0.45	0.93
	72	$1.03\times 10^6(7.05\times 10^5-1.52\times 10^6)$	0.83±0.16	0.990 5	0.60	0.90
	96	$2.38\times 10^5(7.99\times 10^4-4.04\times 10^5)$	0.87±0.18	0.998 4	0.09	0.99
	120	$1.21\times 10^5(3.23\times 10^4-3.29\times 10^5)$	1.21±0.23	0.999 4	0.04	1.00
2#	24	$1.17\times 10^7(5.23\times 10^6-7.64\times 10^7)$	0.75±0.16	0.973 4	1.10	0.78
	48	$2.66\times 10^6(1.93\times 10^6-4.29\times 10^6)$	1.07±0.15	0.976 4	2.67	0.45
	72	$1.08\times 10^6(8.78\times 10^5-1.33\times 10^6)$	1.48±0.16	0.972 4	5.11	0.16
	96	$4.29\times 10^5(2.90\times 10^5-5.67\times 10^5)$	1.34±0.17	0.985 6	2.07	0.56
	120	$2.08\times 10^5(1.03\times 10^5-3.23\times 10^5)$	1.19±0.19	0.981 9	2.49	0.65

表中 1#制剂为大豆油体系, 2#制剂为油酸甲酯体系。下表和下图同。
In the table 1# formulation is soybean oil system and 2# formulation is methyl oleate system. The same below.

2.2 温室防效试验

两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对棉蚜的温室防效试验结果见表 3。施药后 1 d, 两种制剂各浓度间差异不显著 ($P>0.05$), 其中 1#OD 制剂的最高浓度 4×10^6 cfu/mL 防效较好, 防效为 18.11%。施药后 3 d, 两种制剂各浓度间有显著差异 ($P<0.05$), 其中防效最好的是 1#OD 制剂的最高浓度 4×10^6 cfu/mL, 防效为 53.89%。施药后 5 d, 两种制剂各浓度之间有显著性差异 ($P<0.05$), 其中 1#、2#OD 制剂的最高浓度防效较好, 防效分别为 75.04%、75.48%。施药后 7 d, 两种制剂各浓度间差异十分显著 ($P<0.05$), 防效最好的是 2#OD 制剂浓度 4×10^6 cfu/mL 和 2×10^6 cfu/mL, 分别为 84.80%、82.52%。施药后 10 d, 两种制剂各浓度间有显著性差异 ($P<0.05$), 防效最好的是 1#OD 制剂浓度 4×10^6 cfu/mL 和 2×10^6 cfu/mL, 分别为 96.96%、94.89%。施药后 14 d, 两种制剂各浓度间有显著性差异 ($P<0.05$), 防效最好

的是 1#OD 制剂浓度 4×10^6 cfu/mL 和 2×10^6 cfu/mL, 分别为 97.89%和 97.87%。总体来看, 两种 OD 制剂对棉蚜都有很好的防治作用, 并且随着制剂浓度的升高, 防治效果越好。除此之外, 随着处理时间的增加, 其制剂的防治效果和虫口减退率也逐渐增加, 说明真菌制剂的药效持久力强且侵染速度较真菌侵染速度快。

2.3 温度对制剂药效的影响

温度条件对两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂的药效影响结果见图 1。不同温度条件下两种制剂的毒力效果均随着处理时间的增加而增强, 第 5 天毒力达到最大, 1#和 2#OD 制剂的最高校正死亡率分别为 96.34%和 95.04%。1#OD 制剂发挥药效的最适温度是 25 ℃和 28 ℃, 其第 5 天的校正死亡率分别为 96.34%和 94.09%。2#OD 制剂发挥药效的最适温度是 28 ℃, 在处理时间 1-5 d 中, 其毒力效果相对与其他处理时间较好, 最高校正死亡率为 93.03%。总体来看, 28 ℃是两种

表 3 两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对棉蚜的温室防效试验
Table 3 Greenhouse control effect of two dispersible oil suspension agents of *Lecanicillium lecanii* against *Aphis gossypii*

处理 Treatment	浓度 (cfu/mL) Concentration (cfu/mL)	药前虫口数 (头/株) Insects number before treatment (ind./plant)	药后 1 d 1 day after treatment			药后 3 d 3 days after treatment			药后 5 d 5 days after treatment			药后 7 d 7 days after treatment			药后 10 d 10 days after treatment			药后 14 d 14 days after treatment		
			虫口减退率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)	防效 (%) Control efficacy (%)	虫口减退 率 (%) Reducing rate of insects (%)
1#	1×10 ⁶	111	13.79± 5.06	12.98± 5.21 ab	46.25± 0.66	45.33± 1.73 c	66.66± 0.30	66.10± 0.28 c	77.48± 0.21	77.25 ±0.81 e	88.29± 0.11	87.45± 0.15 f	97.30± 0.03	96.99± 0.05 b						
			11.77± 2.52	10.94± 2.57 b	45.68± 1.55	44.74± 2.81 c	73.32± 0.76	72.86± 0.85 b	79.99± 0.58	79.79 ±0.52 d	95.24± 0.14	94.89± 0.18 b	98.10± 0.06	97.87± 0.12 a						
			18.88± 0.98	18.11± 0.94 a	54.68± 1.52	53.89± 2.55 a	75.45± 0.82	75.04± 0.88 a	81.12± 0.64	80.93 ±0.41 c	97.17± 0.09	96.96± 0.11 a	98.11± 0.06	97.89± 0.12 a						
2#	1×10 ⁶	105	11.72± 1.72	10.89± 1.48 b	44.71± 2.11	43.74± 3.40 c	67.59± 1.24	67.04± 1.35 c	78.08± 0.84	77.86 ±0.69 e	91.42± 0.33	90.81± 0.40 e	94.90± 0.74	94.30± 0.96 d						
			10.05± 2.29	9.20± 2.30 b	51.79± 2.97	50.93± 4.11 b	73.16± 1.16	72.71± 1.24 b	82.69± 0.75	82.52 ±0.55 b	93.07± 0.30	92.58± 0.35 d	95.67± 0.19	95.17± 0.33 c						
			15.18± 2.90	14.39± 2.64 ab	53.80± 3.71	52.96± 4.82 ab	75.90± 1.94	75.48± 2.04 a	84.94± 1.21	84.80 ±1.04 a	93.97± 0.48	93.54± 0.56 c	96.99± 0.24	96.63± 0.36 b						
CK	-	180	0.93± 0.34	-	1.63± 2.19	-	1.66± 0.53	-	0.96± 2.86	-	6.68± 1.04	-	10.35± 2.26	-						

表中数据为平均值±标准差，同列数据后标有不同小写字母表示不同处理间的差异显著性（Duncan’s 新复极差法， $P < 0.05$ ）。
Data with mean±SD, and followed by the different lowercase letters indicate significant differences between treatments (Duncan’s new multiple range test, $P < 0.05$).

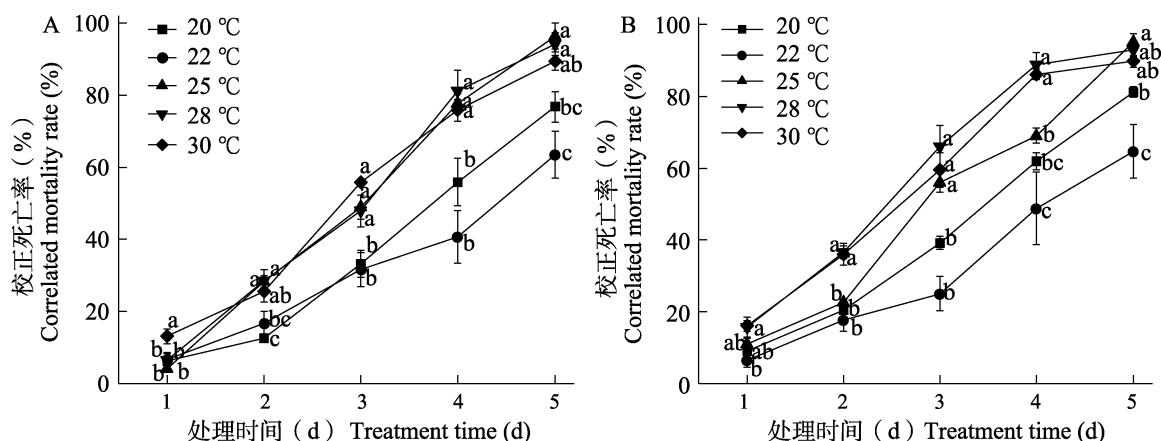


图 1 温度条件对蜡蚧轮枝菌 OD 制剂的药效影响

Fig. 1 Effect of temperature condition on the efficacy of dispersible oil suspension agent of *Lecanicillium lecanii*

A. 1#制剂; B. 2#制剂; 折线上标有不同小写字母表示同一时间点处理组与对照组的显著性差异

($P < 0.05$, Duncan's 新复极差法)。下图同。

A. 1# Formulation; B. 2# Formulation; The different lowercase letters above broken lines indicate significant differences between treatment and control groups ($P < 0.05$) in the same time. The same below.

蜡蚧轮枝菌 OD 制剂的最适温度。

2.4 湿度条件的影响

湿度对两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂的药效影响结果见图 2。棉蚜被处理后的校正死亡率随着相对湿度的升高而增加, 最适宜两种 OD 制剂发挥药效的是 67% 以上, 其致死率高达 90% 以上, 说明相对湿度越高, 越适宜制剂产生作用。其中相对湿度在 30% 和 50% 时, 药剂对棉蚜也产生了毒力作用, 但 30% 左右棉蚜上生长的菌丝较少, 说明相对湿度对制剂药效有一定的影响作用。处理

5 d 后, 两种制剂在相对湿度 30% 左右时的死亡率在 70% 左右。总体而言, 湿度对两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂会产生一定的影响, 但是制剂依旧会对棉蚜产生毒力。

3 讨论

本论文研究了两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对枸杞棉蚜的防治效果及温湿度对其药效的影响。1# 和 2# 两种制剂是本实验室分离的蜡蚧轮枝菌 JMC-01 菌株而研制的真菌制剂。据研究, 蜡蚧

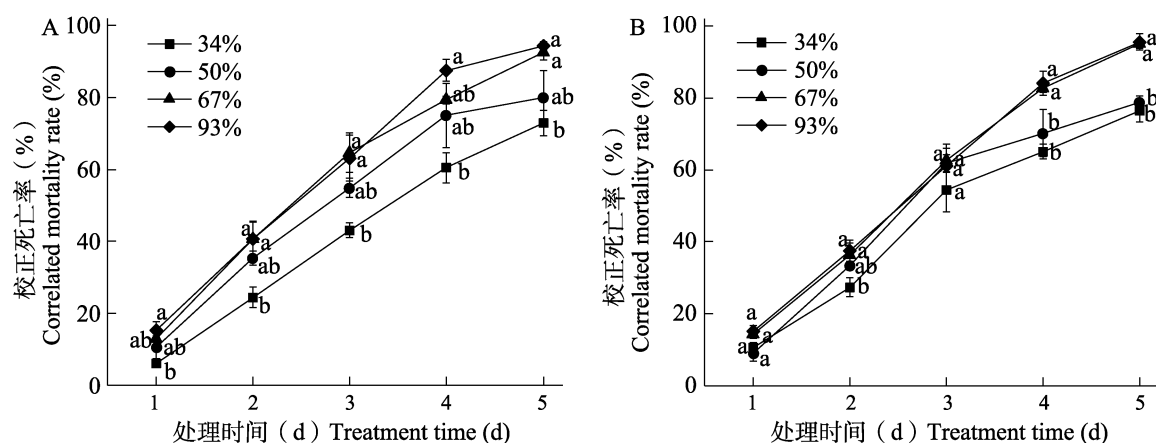


图 2 湿度条件对蜡蚧轮枝菌 OD 制剂的药效影响结果

Fig. 2 Effect of humidity on the efficacy of dispersible oil suspension agent of *Lecanicillium lecanii*

A. 1#制剂; B. 2#制剂。A. 1# Formulation; B. 2# Formulation.

轮枝菌对白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*、桃蚜、小菜蛾 *Plutella xylostella*、等都具有较强的防治效果,且具有易发酵生产的特点,适合开发成真菌杀虫剂(孙大平等, 2021; 柴军发等, 2022)。真菌杀虫剂通过将真菌与助剂结合提高真菌孢子对害虫的致病性,目前已有多种真菌杀虫剂被报道。张兴瑞(2019)研究了球孢白僵菌颗粒剂和土栖剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的联合防治,王海鸿等(2020)研发并获批登记了对西花蓟马效果较好的球孢白僵菌可湿性粉剂,徐翔等(2020)探讨了绿僵菌油悬浮剂与减量化学农药联用对冬玉米草地贪夜蛾的防控效果。

真菌杀虫剂的剂型种类丰富,其中效果最好的是油类制剂。油性助剂与真菌结合可以帮助真菌更好的适应环境,减少环境因素对真菌的影响,还可以提高孢子侵染昆虫的速度,增加对害虫的防治效果(农向群等, 2015)。近年来,油性真菌杀虫剂被广泛研究应用。谷祖敏等(2013)用优化后的蜡蚧轮枝菌 VL17 油剂配方对桃蚜和温室白粉虱进行室内毒力测定,发现其致死率高达 85%。邵云飞等(2022)研究了刀孢蜡蚧菌油剂对苹果黄蚜防治效果,发现处理 7 d 后,其最低浓度室内毒力达到 83%以上,田间防治效果达到 64%以上。目前关于蜡蚧轮枝菌 OD 制剂对害虫的相关研究较少,发展前景较好。

蜡蚧轮枝菌 OD 制剂作为真菌杀虫剂,温湿度对其药效的影响是研究重点。不同昆虫病原真菌由于其生物特性不同,最适温湿度也不同,据研究,蜡蚧轮枝菌的最适温度是 25 °C 左右,最适相对湿度是 80%以上(纪明山等, 2010)。在昆虫病原真菌侵染害虫的过程中,温度和湿度都有极大的影响,但是相对湿度对其影响更大。白云(2016)研究了温湿度对白僵菌防治害虫的影响,发现环境湿度对其侵染的影响最大。Thaochan 等(2020)通过对绿僵菌孢子的萌发与侵染的研究中发现在相对湿度低于 75%时其孢子的萌发率及致死率都较低。Athanasios 等(2017)研究了绿僵菌在 2 个相对湿度和 3 个温度下的毒力效果,发现在 55%和 75%两个相对湿

度下的毒力效果没有明显差异。葛银银和王滨(2022)研究了湿度对球孢白僵菌 Bb202 和玫烟色虫草 *Cordyceps fumosorosea* Ifu13a 田间防治棉蚜效果的影响,发现调控环境湿度可以提高球孢白僵菌和玫烟色虫草对棉蚜的田间防控作用。

综上所述,真菌杀虫剂不仅对害虫有较高的毒力效果,还可以减弱温湿度等环境因素对药效发挥的影响。本研究结果表明,两种蜡蚧轮枝菌 OD 制剂在处理时间为 120 h 的室内毒力药效最显著,1#和2#OD 制剂的 LC_{50} 分别为 1.21×10^5 cfu/mL 和 2.08×10^5 cfu/mL。在田间防治中,两种制剂各浓度均有显著性差异,施药后第 14 天,防效最好的是 1#制剂浓度 4×10^6 cfu/mL 和 2×10^6 cfu/mL,致死率分别为 97.89%和 97.87%。温湿度对两种制剂都有影响,1#制剂发挥药效的最适温度是 25 °C 和 28 °C,第 5 天的校正死亡率分别为 96.34%和 94.09%。2#制剂发挥药效的最适温度是 28 °C,最高校正死亡率为 93.03%。两种制剂在相同相对湿度条件下无明显差异,处理 5 d 后,其最适宜的相对湿度是 67%及以上,棉蚜死亡率达到 90%以上;两种药剂在相对湿度为 30%左右时的棉蚜死亡率在 70%左右。因此,真菌与油性助剂相结合制成真菌制剂可以适应湿度较低的环境,大大提高了对昆虫的致死率。

参考文献 (References)

- Acheampong MA, Coombes CA, Moore SD, Hill MP, 2020. Temperature tolerance and humidity requirements of select entomopathogenic fungal isolates for future use in citrus IPM programmes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 174(4): 107436.
- Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Rumbos CI, Kontodimas DC, 2017. Influence of temperature and relative humidity on the insecticidal efficacy of *Metarhizium anisopliae* against larvae of *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. *Journal of Insect Science*, 17(1): 22.
- Bai Y, 2016. Effects of humidity temperature and initial infection ratio on fungal disease of *Beauveria bassiana* against *Stephanitis nashi* and *Locusta migratoria manilensis* and its model construction. Master dissertation. Hefei: Anhui Agricultural University. [白云, 2016. 两种不同昆虫白僵菌流行病的温湿度效应及流行模式研究. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.]

- Cai CX, Li MY, Chen DX, Pan J, Liu MK, Qi YZ, Xiao LN, Ren CY, Diao CQ, Xu CT, Shen XX, Deng SY, 2018. Biological characteristics of eight *Verticillium lecanii* and their effects on the pathogenicity against *Myzus persicae* aphids. *Chinese Tobacco Science*, 39(5): 86–93. [蔡春霞, 李茂业, 陈德鑫, 潘敬, 刘明科, 齐禹哲, 肖丽娜, 任春燕, 刁朝强, 徐传涛, 沈祥祥, 邓双跃, 2018. 八株蜡蚧轮枝菌的生物学特性及其对烟蚜致病性的影响. 中国烟草科学, 39(5): 86–93.]
- Chai JF, Zhao XY, Zhang XY, Hong B, Jia YX, 2022. Effects of crude toxin of *Lecanicillium lecanii* JMC-01 on the activity of four enzymes of *Myzus persicae* and *Plutella xylostella*. *Chinese Journal of Ecology*, 41(9): 1726–1730. [柴军发, 赵雪怡, 张喧翊, 洪波, 贾彦霞, 2022. 蜡蚧轮枝菌 JMC-01 粗毒素对桃蚜和小菜蛾 4 种酶活的影响. 生态学杂志, 41(9): 1726–1730.]
- Chen YP, Zhang HY, Zhang L, 2010. Ence determination of *Lecanicillium lecanii* Bj085-1 strain against *Bemisia tabaci*. *China Plant Protection*, 30(11): 5–9. [陈宇平, 张红艳, 张龙, 2010. 蜡蚧轮枝菌(*Lecanicillium lecanii*) Bj085-1 菌株对烟粉虱的毒力测定. 中国植保导刊, 30(11): 5–9.]
- Ding XL, Yao FL, Zheng Y, Zhao JW, Lu XS, Wang ZH, He YX, 2022. The pathogenicity of *Metarhizium rileyi* FJMR2 to different age classes of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(3): 551–558. [丁雪玲, 姚凤奎, 郑宇, 赵建伟, 卢学松, 王竹红, 何玉仙, 2022. 莱氏绿僵菌 FJMR2 对草地贪夜蛾不同虫态的致病性研究. 应用昆虫学报, 59(3): 551–558.]
- Dou YN, An JJ, Guo JL, Yuan WL, Wei HL, Dang ZH, Gao ZL, Li YF, 2022. Effects of temperature on the bio-activity of cyananthramide to *Aphis gossypii* Glover and *Sitobion avenae* Fabricius. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(4): 874–880. [窦亚楠, 安静杰, 郭江龙, 袁文龙, 魏洪亮, 党志红, 高占林, 李耀发, 2022. 溴氰虫酰胺对棉蚜和麦长管蚜生物活性的温度效应. 应用昆虫学报, 59(4): 874–880.]
- Fang T, Zhang JG, Fan GQ, Chen Y, Liang J, Li J, Zhou XY, Wang L, Zheng RM, Yan R, Lei B, 2021. Preliminary study on insecticidal activity of 28 plant extracts from Xinjiang to cotton aphids. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 58(10): 1868–1875. [方涛, 张军高, 樊国全, 陈勇, 梁晶, 李进, 周小云, 王莉, 郑瑞明, 鄯蓉, 雷斌, 2021. 28 种植物提取物对棉蚜的杀虫活性测定. 新疆农业科学, 58(10): 1868–1875.]
- Ferry N, Edwards MG, Gatehouse JA, Gatehouse AMR, 2004. Plant-insect interactions: molecular approaches to insect resistance. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(2): 155–161.
- Ge YY, Wang B, 2022. Impact of humidity on field control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* by *Beauveria bassiana* and *Cordyceps fumosorosea*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(1): 172–179. [葛银银, 王滨, 2022. 湿度对球孢白僵菌和玫烟色虫草田间防治棉蚜效果的影响. 中国生物防治学报, 38(1): 172–179.]
- Gu ZM, Zhou F, Chen S, Ji MS, 2013. An oil formulation of *Verticillium lecanii* VL17 and its bioassay in laboratory. *Agrochemicals*, 52(5): 337–339. [谷祖敏, 周飞, 陈思, 纪明山, 2013. 蜡蚧轮枝菌 VL17 油剂配方筛选及室内毒力评价. 农药, 52(5): 337–339.]
- Guan ZY, Zhou GY, Li C, Liu JA, 2022. Synergistic effect of mixed use of *Beauveria bassiana* and matrine on *Spodoptera bilinealis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(3): 573–579. [关朝阳, 周国英, 李聪, 刘君昂, 2022. 球孢白僵菌与苦参碱混用对双线卷裙夜蛾的协同增效作用. 中国生物防治学报, 38(3): 573–579.]
- Guo JR, Pu ZY, Chai JF, Wang XL, Hong B, Wang F, Jia YX, 2023. Effect of dispersible oil suspension agent of *Akanthomyces lecanii* on feeding behavior of *Aphis gossypii*. *Plant Protection*, 49(6): 139–146, 154. [郭佳茹, 蒲占悦, 柴军发, 王小龙, 洪波, 王芳, 贾彦霞, 2023. 蜡蚧轮枝菌可分散油悬浮剂对枸杞棉蚜取食行为的影响. 植物保护, 49(6): 139–146, 154.]
- Huang P, Yao JA, Lan YY, Yu DY, Hou XY, 2022. Identification of the entomopathogenic fungus LL-01 and assessing its pathogenicity to two mealybugs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(3): 671–680. [黄鹏, 姚锦爱, 蓝炎阳, 余德亿, 侯翔宇, 2022. 虫生真菌 LL-01 鉴定及对两种检疫性粉蚧的致病性. 应用昆虫学报, 59(3): 671–680.]
- Huang P, Zhang J, Chen HX, Lan YY, Yao JA, Yu DY, 2022. Thrip infestation on sweet peppers in Fujian and pathogenicity of *Lecanicillium lecanii* against dominant species of thrips. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 37(4): 514–519. [黄鹏, 张杰, 陈汉鑫, 蓝炎阳, 姚锦爱, 余德亿, 2022. 福建甜椒蓟马发生情况及蜡蚧轮枝菌对蓟马优势种的致病力. 福建农业学报, 37(4): 514–519.]
- Ji MS, Xin X, Wang YH, Wang RX, 2010. Effects of temperature and humidity factors on the pathogenicity of *Verticillium lecanii* VL17 to *Trialeurodes vaporariorum* westwood. *Northern Horticulture*, 2010(18): 179–181. [纪明山, 辛鑫, 王艳辉, 王瑞雪, 2010. 温湿度对蜡蚧轮枝菌 VL17 菌株侵染温室白粉虱的毒力影响. 北方园艺, 2010(18): 179–181.]
- Kim JJ, 2007. Influence of *Lecanicillium attenuatum* on the development and reproduction of the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Biocontrol*, 52(6): 789–799.
- Li N, Liu B, Lu YH, 2021. Effects of sulfoxaflo on *Aphis gossypii* and natural enemies in Xinjiang cotton field. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 58(11): 2062–2068. [李娜, 刘冰, 陆宴辉, 2021. 氟啶虫胺腈对新疆棉田棉蚜及其天敌种群的影响. 新疆农业科学, 58(11): 2062–2068.]
- Liu H, Zhang L, Zhang ZS, 2012. In-door toxicity and chemicals sensitivity of *Verticillium lecanii* on *Aphis* sp. on *Lycium chinense*. *China Vegetables*, 2012(4): 87–90. [刘浩, 张龙, 张宗

- 山, 2012. 蜡蚧轮枝菌对枸杞蚜虫的室内毒力和常用药剂敏感性测定. 中国蔬菜, 2012(4): 87–90.]
- Liu MK, Yan FF, Qi YY, Huang Y, Yan XL, Qian YB, Li MY, 2020. Screening of *Lecanicillium* strains with high virulence to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(6): 751–758. [刘明科, 闫芳芳, 齐禹哲, 黄岩, 闫雪梨, 钱逸彬, 李茂业, 2020. 对桃蚜高毒力的蜡蚧菌菌株筛选. 昆虫学报, 63(6): 751–758.]
- Ma YJ, Hu HY, Ma XY, Ren XL, Jiang WL, Song XP, Ma Y, 2019. Efficacy of nine kinds of neonicotinoid insecticide to control *Cotton Aphid*. *China Cotton*, 46(3): 25–27, 30. [马亚杰, 胡红岩, 马小艳, 任相亮, 姜伟丽, 宋贤鹏, 马艳, 2019. 9 种烟碱类杀虫剂对棉蚜的防治效果研究. 中国棉花, 46(3): 25–27, 30.]
- Nong XQ, Zhang YC, Wang YY, 2015. Advances in registration and formulation techniques of *Metarhizium* biological insecticides. *Journal of Plant Protection*, 42(5): 702–714. [农向群, 张英财, 王以燕, 2015. 国内外杀虫绿僵菌制剂的登记现状与剂型技术进展. 植物保护学报, 42(5): 702–714.]
- Shao YF, Tan JY, Li CJ, Liu S, Li SG, Zhu CY, Jiang LQ, Zhang X, Li MY, 2022. Laboratory toxicity test and field efficacy evaluation of an oil formulation of *Lecanicillium psalliotae* against *Aphis citricola*. *Plant Protection*, 49(3): 305–309. [邵云飞, 谭家珂, 李成军, 刘苏, 李世广, 朱丞宇, 江连强, 张鑫, 李茂业, 2022. 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. 植物保护, 49(3): 305–309.]
- Sun DP, Lu Q, Wang P, Bai QR, Zang LS, 2021. Pathogenicity of four pathogenic fungi to *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 43(6): 664–672. [孙大平, 路茜, 王鹏, 白庆荣, 臧连生, 2021. 4 种病原真菌对桃蚜和温室白粉虱的致病力. 吉林农业大学学报, 43(6): 664–672.]
- Thaochan T, Benarlee R, Prabhakar CS, Hu QB, 2020. Impact of temperature and relative humidity on effectiveness of *Metarhizium guizhouense* PSUM02 against longkong bark eating caterpillar *Cossus chloratus* Swinhoe under laboratory and field conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(2): 285–290.
- Wang HH, Liu S, Wang SY, Lei ZR, 2020. Research and development of wettable powder of *Beauveria bassiana* and its control and application to *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(6): 858–861. [王海鸿, 刘胜, 王帅宇, 雷仲仁, 2020. 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. 中国生物防治学报, 36(6): 858–861.]
- Wang XL, Wu N, Zhang YD, Han R, Zhang QC, Wang JG, 2022. Effects of aphid damage to cotton plants on nutritional metabolism of *Aphis gossypii*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(4): 854–861. [王小丽, 吴娜, 张玉栋, 韩睿, 张全成, 王俊刚, 2022. 取食蚜害后的棉花对棉蚜营养代谢的影响. 应用昆虫学报, 59(4): 854–861.]
- Wen SH, Pang JX, Du GZ, Chen B, Zhang LM, 2022. Isolation and identification of two *Beauveria bassiana* strains from the infected earwig and their virulence to *Spodoptera frugiperda* larvae. *Plant Protection*, 48(4): 318–323, 362. [温绍海, 庞继鑫, 杜广祖, 陈斌, 张立敏, 2022. 2 株感染蠋蛾的球孢白僵菌的分离鉴定及对草地贪夜蛾的毒力. 植物保护, 48(4): 318–323, 362.]
- Xie JY, Wu C, Lin J, Li R, Cai GH, 2022. Sublethal effects of imidacloprid on the survival and reproduction of *Schizaphis graminum* (Rondani). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(1): 172–178. [谢佳燕, 吴聪, 林佳, 李睿, 蔡光华, 2022. 亚致死剂量吡虫啉对麦二叉蚜生存和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(1): 172–178.]
- Xu D, Cong SB, Wu HH, Huang MS, Xu X, Wang P, 2016. Toxicity of sulfoxaflor against *Aphis gossypii* Glover and its bio-safety to cotton. *Plant Protection*, 42(1): 219–223. [许冬, 丛胜波, 武怀恒, 黄民松, 徐雪, 万鹏, 2016. 氟啶虫腈对棉蚜的生物活性及对棉花的安全性. 植物保护, 42(1): 219–223.]
- Xu X, Yang SJ, Li WQ, Heng XR, Yin Y, 2020. Control *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in winter corn using the combination of *Metarhizium anisopliae* oil suspension and reduced chemical pesticide. *Chinese Journal of Biological Control*, 36(4): 530–533. [徐翔, 杨淞杰, 李维强, 衡晓蓉, 尹勇, 2020. 绿僵菌油悬浮剂与减量化学农药联用对冬玉米草地贪夜蛾的防控效果. 中国生物防治学报, 36(4): 530–533.]
- Zhang RZ, Zhang R, 2016. Aphids infested *Lycium chinense* Miller are *Aphis gossypii* Glover, *Myzus persicae* (Sulzer) and *A. craccivora* Koch. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 218–222. [张润志, 张蓉, 2016. 宁夏危害枸杞的蚜虫种类为棉蚜、桃蚜和豆蚜. 应用昆虫学报, 53(1): 218–222.]
- Zhang XR, 2019. Combined application of *Beauveria bassiana* granules and soil-dwelling predatory mites *Stratiolaelaps scimitus* for control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [张兴瑞, 2019. 球孢白僵菌颗粒剂和土栖剑毛帕厉螨对西花蓟马的联合防治. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Zhang XX, Zhao ZF, Mao XH, Bai TT, Zhang AS, 2020. Co-toxicity of *Metarhizium anisopliae* CQMa421 with three other insecticides against the *Aphis gossypii* Glover. *Agrochemicals*, 59(1): 74–78. [张秀霞, 赵忠范, 毛晓红, 白婷婷, 张安盛, 2020. 金龟子绿僵菌 CQMa421 与 3 种杀虫剂对瓜蚜的联合毒力. 农药, 59(1): 74–78.]
- Zhu HX, Ma YQ, 2019. Development of the wettable powder of fungal endophyte HL-1 and evaluation of its herbicidal activity. *Acta Agrestia Sinica*, 27(5): 1301–1308. [朱海霞, 马永强, 2019. 内生菌 HL-1 可湿性粉剂研制及其除草活性评价. 草地学报, 27(5): 1301–1308.]