

五种喷雾助剂对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂和 15% 哒螨灵乳油防治木瓜秀粉蚧的增效作用

杨石有^{1a}, 张蕊^{2,1a}, 张贺³, 王红刚^{1b}, 王洪星^{1a}, 陈银华^{*,1b}

(1. 海南大学 a.林学院, b.热带作物学院, 海口 570228; 2. 仲恺农业工程学院 农业与生物学院, 广州 510225; 3. 中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所, 海口 571101)

摘要: 为探索喷雾助剂对药液物理性状的影响及防治木瓜秀粉蚧的增效作用, 室内条件下研究了添加 5 种喷雾助剂 [芦荟精油、有机硅助剂 silwet408、渗透剂 JFC-2、氮酮和增效醚 (PBO)] 对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂和 15% 哒螨灵乳油表面张力、扩展直径以及最大持留量的影响, 并测定了添加喷雾助剂对 2 种供试药剂防治木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* 的增效作用。结果表明: 5 种助剂均能显著降低药液的表面张力、增大扩展直径并提高药液持留量; 室内毒力测定结果表明, 5 种助剂对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂和 15% 哒螨灵乳油的毒力具有不同程度的增效作用, 增效比分别达 5.1%~26.1% 和 22.7%~41.8%, 其中 JFC-2 和 PBO 的增效作用较为明显。田间试验结果表明, JFC-2 和 PBO 可提高 2 种供试药液对木瓜秀粉蚧的田间防效, 尤其对高浓度药液的增效作用更为明显, 其中 JFC-2 对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂防效的增效比在 10.3%~24.6% 之间, 增效醚对 15% 哒螨灵乳油防效的增效比在 12.1%~28.9% 之间。

关键词: 喷雾助剂; 渗透剂; 增效醚; 螺螨酯; 哒螨灵; 木瓜秀粉蚧; 增效作用; 田间防效

中图分类号: S482.91; S482.92 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2019)04-0531-07

Synergistic effect of five spray adjuvants on spirodiclofen 240 g/L suspension concentrate and pyridaben 15% emulsifiable concentrate for the control of *Paracoccus marginatus*

YANG Shiyou^{1a}, ZHANG Rui^{2,1a}, ZHANG He³, WANG Honggang^{1b},
WANG Hongxing^{1a}, CHEN Yinhu^{*,1b}

(1. a.College of Forestry, b.College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. Environment and Plant Protection Institute, CATAS, Haikou 571101, China)

Abstract: The effects of spray adjuvants on physical properties of two insecticides and the synergistic effects against *Paracoccus marginatus* were investigated in this study. The effects of surface tension, expanded diameter, maximum retention on spirodiclofen 240 g/L suspension concentrate(SC) and pyridaben 15% emulsifiable concentrate(EC) were determined under indoor conditions after the addition of five spray adjuvants (aloe essential oil, silicone silwet408, JFC-2, azone and PBO). In

收稿日期: 2019-03-29; 录用日期: 2019-06-14.

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-11-HNCYH).

作者简介: 杨石有, 男, 讲师, 主要从事农药学教学与研究工作, E-mail: rndyangshiyou@163.com; *陈银华, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 教授, 研究方向为木薯生物防治与综合防控, E-mail: yhchen@hainanu.edu.cn

addition, the synergistic effect between the adjuvants and two insecticides were evaluated. The results indicated that the spray adjuvants can significantly reduce the surface tension, increase the expansion diameter, retention and indoor virulence. Spray adjuvants can increase the indoor virulence of spiroadiclofen 240 g/L SC and pyridaben 15% EC by 5.1%-26.1% and 22.7%-41.8%, respectively. JFC-2 and PBO were more effective for the increase of the synergistic effects with spiroadiclofen 240 g/L SC and pyridaben 15% EC. Field experiments showed that JFC-2 and PBO improved the field control effect of two insecticides in different concentrations against *P. marginatus*, especially for that in high concentrations. The synergistic effect between JFC-2 and spiroadiclofen 240 g/L SC was 10.3%-24.6%, and that between PBO and pyridaben 15% EC was 12.1%-28.9%.

Keywords: spray adjuvant; JFC-2; PBO; spiroadiclofen; pyridaben; *Paracoccus marginatus*; synergism; field control

农药药液在喷雾过程中要经过雾化、飞行、撞击和反弹等一系列行为,在此过程中不可避免地会出现农药雾滴飘移、蒸发和流失等现象^[1]。此外,当药液达到靶标表面时,由于药液理化性质不同或受靶标特性的影响会造成药液以液珠的形式滚落;而有时即使药液进入靶标体内,也会因为一系列代谢问题或受到靶标体内某些物质的阻隔等,致使大量药液不能达到预定靶标位点^[2]。如何提高农药有效利用率、提高农药对靶标作物的沉积量成为亟待解决的问题。目前除通过改善施药器械和施药方式来尽可能降低农药飘移外^[3-4],添加喷雾助剂也是提高农药在靶标沉积量的常用手段^[5]。农药喷雾助剂主要包括表面活性剂、有机硅类、植物油和矿物油 4 大类^[6],喷雾助剂通过降低药液的表面张力和接触角、提高药液的润湿性和展布力,从而提高药液在靶标表面的黏附与沉积、促进药剂的吸收和传导^[7-9],已广泛应用于害虫^[10-12]、杂草^[13-14]、病原菌^[15-16]等有害生物的防治及治理。

木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink 又名木瓜粉蚧,自 1992 年在墨西哥首次被发现后迅速蔓延,已在十几个国家暴发为害^[17-19]。该虫于 2010 年在中国台湾省首次发现^[20],后于 2014 年在中国云南省西双版纳勐腊县发现^[21],现已迅速蔓延,在中国云南、海南、广西、广东及台湾等地暴发成灾,严重威胁当地木薯、木瓜产业的可持续发展^[22]。木瓜秀粉蚧通过若虫和雌成虫刺吸为害植物的茎叶和果实,同时向植物体内注射毒性物质,造成叶片褪绿黄化,卷缩变形、落花落果,同时产生大量蜜露进而引起烟煤病^[19] (sooty mould)。该虫寄主广

泛,可危害木薯、木瓜、番石榴、番茄、茄子、芒果和木棉等 35 个科,超过 55 个属^[23]。木瓜秀粉蚧体壁有一层厚的蜡质层,常隐藏在植物叶片的背部和隐蔽处,防控存在一定的难度。笔者通过前期室内毒力测定发现,240 g/L 螺螨酯悬浮剂和 15% 哒螨灵乳油对木瓜秀粉蚧 2 龄若虫具有较高毒力,而在该制剂中添加不同助剂是否能增加药效,从而降低农药使用量还未知。基于此,本文选择 5 种常用的喷雾助剂,将其分别添加到 2 种供试药剂中,通过测定药液的毒力、表面张力、持留量及扩展直径等指标评价助剂对药液是否有增效作用,同时通过田间试验进一步评价其增效效果,以期对木瓜秀粉蚧的防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

木瓜秀粉蚧 *P. marginatus* 采自海南大学热带农林学院周边木薯基地,每片木薯叶片保留 30 头 2 龄若虫供试。240 g/L 螺螨酯悬浮剂 (spiroadiclofen SC) 拜耳作物科学中国有限公司;15% 哒螨灵乳油 (pyridaben EC),广西田园生化股份有限公司。芦荟精油 (aloe essential oil) 和渗透剂 JFC-2,青岛金田谷农业发展有限公司;氮酮 (azone),郑州市津北化工有限公司;有机硅 silwet408 (silicone silwet408),青岛绿农作物营养有限公司;增效醚 (PBO),湖北楚盛威化有限公司。

1.2 主要仪器

BZY-1 型全自动表/界面张力仪,上海衡平仪器厂;AB135-S 电子天平 (精确到 0.000 1 g),广州君达仪器公司;OLYMPUS-BX43 显微镜,奥林巴斯中国;永乐牌背负式自动喷雾器 3WB-D-16L,

台州市路桥稼友喷雾器厂; 喉头喷雾器, 秦州市高港区医疗器械厂。

1.3 试验方法

1.3.1 不同助剂对药液表面张力和扩展直径的影响

参照张忠亮的方法^[14], 略有改动。用清水将 2 种供试药剂分别配制成有效成分质量浓度为 100 mg/L 的药液, 分别添加 5 种助剂, 使各助剂的质量浓度分别为 1 000、500、250、125 和 62.5 mg/L。以不添加助剂的 100 mg/L 药液及清水为对照。用全自动表/界面张力仪测定其表面张力, 重复 3 次, 取平均值。取 1 μ L 待测液于载玻片上, 静置 5 min 后用电子显微镜拍照, 测量液滴的最大直径和最小直径, 取平均值, 重复 3 次。

1.3.2 不同助剂对药液在叶片上最大持留量的影响

参照张忠亮的方法^[14], 略有改动。选取长势一致的木薯叶片, 在叶片同一位置剪成长 2 cm、宽 7 cm 大小, 称量, 记为初始质量 (m_1 , g); 将该叶片于 1.3.1 节供试药液中浸渍 10 s 后取出, 待无药液滴下时测定其质量 (m_2 , g)。重复 5 次。按公式 (1) 计算药液最大持留量 (R_M , mg/cm²), 结果取平均值。

$$R_M = (m_1 - m_2) / (2 \times S) \quad (1)$$

式中: S 为木薯叶片表面积 (cm²)。

1.3.3 不同助剂对药液室内毒力的增效作用 在预试验的基础上, 以清水为溶剂, 分别将 240 g/L 螺螨酯 SC 和 15% 哒螨灵 EC 稀释成有效成分分别为 100、50、25、12.5 和 6.25 mg/L 的供试药液, 在各药液中加入不同的供试助剂 (助剂质量浓度为 1 000 mg/L)。以添加相同用量助剂的清水为对照。用喉头喷雾器将不同浓度的药液均匀喷施在含木瓜秀粉蚧 2 龄若虫的木薯叶片上。试验重复 3 次, 每重复 30 头虫, 共计 90 头虫。用锡箔纸将蘸有清水的棉花包裹在叶柄处, 于 25 \pm 1 $^{\circ}$ C、相对湿度为 75% \pm 5%、光照周期 14 (L): 10 (D) 的人工气候箱中饲养, 于 48 h 检查死虫数, 计算死亡率及 LC₅₀ 值, 按照公式 (2) 计算增效比。

$$S_v / \% = 100 \times (A - B) / A \quad (2)$$

式中: S_v 为室内毒力增效比; A 为不加助剂药液的 LC₅₀ 值; B 为添加助剂药液的 LC₅₀ 值。

1.3.4 田间药效试验 将筛选得到的具有增效作用的助剂添加到 2 种药液中 (配制方法同 1.3.3 节), 用自动喷雾器将供试药液均匀喷施在含木瓜秀粉蚧的木薯叶片上, 以含相同助剂的清水

为对照, 试验重复 3 次, 每重复 10 株木薯。试验前及试验期间均未施用其他药剂。于施药当天调查药前虫口基数, 施药 5 d 调查活虫数。分别采用公式 (3) 和 (4) 计算虫口减退率和防治效果, 按照公式 (5) 计算田间防效增效比。

$$R / \% = 100 \times (N_b - N_a) / N_b \quad (3)$$

式中: R 为虫口减退率; N_b 为药前虫口基数; N_a 为药后虫口基数。

$$E / \% = 100 \times (R_t - R_c) / (1 - R_c) \quad (4)$$

式中: E 田间防治效果; R_t 为处理区虫口减退率; R_c 为对照区虫口减退率。

$$S_F / \% = 100 \times (E_J - E_c) / E_c \quad (5)$$

式中: S_F 为田间防效增效比; E_J 为添加助剂药液的田间防效; E_c 为不加助剂药液的田间防效。

2 结果与分析

2.1 不同助剂对药液表面张力及扩展直径的影响

结果 (表 1 和表 2) 表明: 添加不同浓度的 5 种助剂, 对 2 种农药药液的表面张力及展直径均有较大影响。随着助剂质量浓度的增加, 药液表面张力逐渐减小, 扩展直径逐渐增大。以清水为对照, 所添加助剂对螺螨酯和哒螨灵表面张力的增减率分别在 -51.9%~ -10.9% 和 -54.7%~-11.7% 之间, 且同一药液不同助剂浓度之间表面张力差异显著; 同样地, 药液扩展直径的增减率在 20.9%~129.0% 和 17.6%~141.0% 之间。其中, 有机硅助剂对 2 种农药制剂表面张力及扩展直径的影响最大, 氮酮和 PBO 的影响相对较小。

2.2 不同助剂对药液最大持留量的影响

结果 (表 1 和表 2) 表明: 随着助剂质量浓度的增加, 螺螨酯和哒螨灵药液在木薯叶片上持留量依次增加, 分别比清水对照增加 27.9%~173.0% 和 47.3%~121.5%。其中芦荟精油、氮酮和 PBO 对螺螨酯药液持留量的影响较大, 氮酮、PBO 和 JFC-2 对哒螨灵药液持留量的影响较大。

2.3 室内毒力的增效作用

添加 1 000 mg/L 的不同助剂后, 2 种供试药剂对木瓜秀粉蚧 2 龄若虫的室内毒力均有一定程度的提高 (表 3), 但对哒螨灵药液的增效作用更加明显, 增效比在 22.7%~41.8% 之间。对螺螨酯药液增效作用最大的为 JFC-2, 增效比为 26.1%; 对哒螨灵增效作用最大的为 PBO, 增效比为 41.8%。

表 1 5 种助剂对 240 g/L 螺螨酯悬浮剂表面张力、扩展直径和最大持留量的影响

Table 1 Effects of five adjuvants on the surface tension, expanded diameter and maximum retention of spiroticlofen 240 g/L SC

| 助剂 Adjuvant | 质量浓度 Concentration/ (mg/L) | 表面张力 Surface tension | | 扩展直径 Expanded diameter | | 最大持留量 Maximum retention | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|---|----------------------|
| | | 平均值 Mean value/(mN/m) | 增减率 Change rate/% | 平均值 Mean value/ μ m | 增减率 Change rate/% | 平均值 Mean value/(mg/cm ²) | 增减率 Change rate/% |
| 芦荟精油 Aloe essential oil | 1 000 | 26.0 ± 0.2 u | -48.3 | 2 031 ± 58 b | 87.8 | 3.92 ± 0.72 a | 173.0 |
| | 500 | 26.4 ± 0.1 t | -47.5 | 1 939 ± 61 bc | 79.2 | 3.62 ± 0.24 ab | 152.1 |
| | 250 | 26.7 ± 0.1 t | -46.9 | 1 836 ± 95 bcde | 69.6 | 3.42 ± 0.34 abc | 138.2 |
| | 125 | 26.6 ± 0.2 t | -47.1 | 1 740 ± 101 cdef | 60.8 | 3.32 ± 0.24 abc | 131.2 |
| | 62.5 | 28.5 ± 0.3 r | -43.3 | 1 604 ± 68 fg | 48.3 | 3.28 ± 0.13 abcd | 128.5 |
| 有机硅 silwet408 Silicone silwet408 | 1 000 | 24.2 ± 0.1 w | -51.9 | 2 478 ± 157 a | 129.0 | 2.16 ± 0.62 ghijk | 50.5 |
| | 500 | 25.0 ± 0.2 v | -50.3 | 2 378 ± 152 a | 119.7 | 2.02 ± 0.36 hijk | 40.5 |
| | 250 | 27.5 ± 0.3 s | -45.3 | 1 911 ± 175 bcd | 76.6 | 2.01 ± 0.60 hijk | 40.3 |
| | 125 | 30.9 ± 0.2 o | -38.6 | 1 834 ± 189 bcde | 69.5 | 1.93 ± 0.45 ijk | 34.1 |
| | 62.5 | 33.0 ± 0.3 n | -34.4 | 1 719 ± 320 defg | 58.9 | 1.84 ± 0.43 ijk | 27.9 |
| 渗透剂 JFC-2 | 1 000 | 29.9 ± 0.3 q | -40.6 | 2 399 ± 243 a | 121.7 | 2.90 ± 0.48 bcdef | 102.2 |
| | 500 | 30.4 ± 0.3 p | -39.6 | 2 342 ± 250 a | 116.5 | 2.25 ± 0.17 fghij | 57.0 |
| | 250 | 31.8 ± 0.3 n | -36.8 | 2 068 ± 227 bcd | 91.2 | 2.18 ± 0.37 jghijk | 52.2 |
| | 125 | 34.9 ± 0.3 l | -30.6 | 1 544 ± 111 fgh | 42.7 | 2.12 ± 0.57 ghijk | 47.7 |
| | 62.5 | 36.3 ± 0.1 k | -27.8 | 1 499 ± 233 ghi | 38.6 | 1.84 ± 0.40 ijk | 28.3 |
| 氮酮 Azone | 1 000 | 39.0 ± 0.3 j | -22.5 | 1 667 ± 180 efg | 54.1 | 3.40 ± 1.05 abc | 136.9 |
| | 500 | 41.0 ± 0.2 fg | -18.5 | 1 460 ± 84 ghi | 34.9 | 3.38 ± 0.63 abc | 135.4 |
| | 250 | 42.1 ± 0.3 e | -16.3 | 1 368 ± 97 hi | 26.4 | 3.16 ± 0.21 bcde | 120.3 |
| | 125 | 43.2 ± 0.3 d | -14.1 | 1 333 ± 107 ij | 23.2 | 3.12 ± 0.73 bcde | 117.2 |
| | 62.5 | 44.8 ± 0.2 c | -10.9 | 1 321 ± 113 ij | 22.1 | 2.78 ± 0.63 cdefg | 93.4 |
| 增效醚 PBO | 1 000 | 40.0 ± 0.2 i | -20.5 | 1 605 ± 162 fg | 48.3 | 3.12 ± 0.39 bcde | 117.0 |
| | 500 | 40.2 ± 0.2 i | -20.1 | 1 501 ± 102 ghi | 38.8 | 3.03 ± 0.37 bcde | 111.4 |
| | 250 | 40.4 ± 0.3 hi | -19.7 | 1 394 ± 121 hi | 28.9 | 2.75 ± 0.50 cdefgh | 91.6 |
| | 125 | 40.7 ± 0.1 g | -19.1 | 1 29 ± 128.41 ij | 19.2 | 2.54 ± 0.62 defghi | 76.9 |
| | 62.5 | 41.3 ± 0.2 f | -17.9 | 1 308 ± 78 ij | 20.9 | 2.45 ± 0.73 efghi | 70.7 |
| 对照 Control | 0 | 48.1 ± 0.3 b | -4.4 | 1 149 ± 29 jk | 6.2 | 1.59 ± 0.30 jk | 10.8 |
| 清水对照 Water control | 0 | 50.3 ± 0.2 a | - | 1 082 ± 48 k | - | 1.44 ± 0.14 k | - |

注：同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P = 0.05$ 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column show significant difference at $P = 0.05$ level by Duncan's new multiple range tests.

2.4 田间防效的增效作用

向有效成分不同的螺螨酯和哒螨灵供试药液中添加 1 000 mg/L 的 JFC-2 和 PBO 后, 发现药液对木瓜秀粉蚧的田间防效均有不同程度的提高(表 4), 增效比分别在 10.3%~24.6% 和 12.1%~28.9% 之间。添加助剂对高浓度药液的增效作用较低浓度更为明显, 不同药液浓度之间增效比差异显著。

3 结论与讨论

喷雾助剂可通过降低药液表面张力、增大扩

展直径和提高药液持留量而达到对药液的增效作用, 已广泛用于农业生产上有害生物的防治。本研究发现: 5 种常用助剂均显著降低 240 g/L 螺螨酯 SC 和 15% 哒螨灵 EC 药液的表面张力、增大扩展直径并提高药液持留量; 5 种助剂均能不同程度地提高 2 种药液对木瓜秀粉蚧 2 龄若虫的室内毒力, 其中渗透剂 (JFC-2) 对 240 g/L 螺螨酯 SC、增效醚 (PBO) 对 15% 哒螨灵 EC 的增效作用更强; 田间防效表明, JFC-2 和 PBO 对 2 种药剂不同质量浓度防效均有一定的增效作用。

5 种助剂中, 芦荟精油、silwet408 和 JFC-2

表 2 5 种助剂对 15% 哒螨灵乳油表面张力、扩展直径和最大持留量的影响

Table 2 Effects of five adjuvants on the surface tension, expanded diameter and maximum retention of pyridaben 15% EC

| 助剂 Adjuvant | 质量浓度 Concentration/(mg/L) | 表面张力 Surface tension | | 扩展直径 Expanded diameter | | 最大持留量 Maximum retention | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|---|----------------------|
| | | 平均值 Mean value/(mN/m) | 增减率 Change rate/% | 平均值 Mean value/ μm | 增减率 Change rate/% | 平均值 Mean value/(mg/cm ²) | 增减率 Change rate/% |
| 芦荟精油 Aloe essential oil | 1 000 | 28.10 ± 0.1 t | -44.1 | 1 556 ± 148 def | 43.8 | 2.63 ± 0.85 abc | 83.4 |
| | 500 | 30.70 ± 0.2 q | -39.0 | 1 531 ± 168 def | 41.5 | 2.61 ± 0.51 abc | 81.8 |
| | 250 | 33.60 ± 0.2 o | -33.2 | 1 398 ± 101 fghi | 29.2 | 2.41 ± 0.64 abc | 67.7 |
| | 125 | 38.30 ± 0.2 l | -23.9 | 1 335 ± 148 ghij | 23.4 | 2.38 ± 0.28 abc | 65.6 |
| | 62.5 | 39.70 ± 0.2 j | -21.1 | 1 288 ± 117 hij | 19.0 | 2.36 ± 0.63 abc | 64.7 |
| 有机硅 silwet408 Silicone silwet408 | 1 000 | 22.80 ± 0.2 w | -54.7 | 2 607 ± 35 a | 141.0 | 2.97 ± 0.34 ab | 107.2 |
| | 500 | 24.00 ± 0.2 v | -52.3 | 2 481 ± 129 a | 129.3 | 2.68 ± 0.25 abc | 86.6 |
| | 250 | 25.90 ± 0.2 u | -48.5 | 1 848 ± 195 bc | 70.8 | 2.41 ± 0.30 abc | 68.2 |
| | 125 | 30.70 ± 0.2 q | -39.0 | 1 659 ± 150 de | 53.3 | 2.31 ± 0.34 bc | 61.0 |
| | 62.5 | 34.60 ± 0.2 m | -31.2 | 1 543 ± 199 def | 42.6 | 2.22 ± 0.32 bc | 55.0 |
| 渗透剂 JFC-2 | 1 000 | 29.80 ± 0.2 s | -40.8 | 1 899 ± 166 b | 75.5 | 2.86 ± 0.53 abc | 99.4 |
| | 500 | 30.20 ± 0.1 r | -40.0 | 1 776 ± 149 bc | 64.1 | 2.82 ± 0.66 abc | 96.5 |
| | 250 | 30.90 ± 0.2 q | -38.6 | 1 666 ± 136 cd | 53.9 | 2.74 ± 0.70 abc | 90.9 |
| | 125 | 31.40 ± 0.2 p | -37.6 | 1 543 ± 74 def | 42.6 | 2.51 ± 0.47 abc | 75.0 |
| | 62.5 | 33.20 ± 0.2 o | -34.0 | 1 475 ± 76 def | 36.3 | 2.41 ± 0.66 abc | 68.0 |
| 氮酮 Azone | 1 000 | 38.30 ± 0.2 l | -23.9 | 1 317 ± 105 hij | 21.7 | 3.18 ± 0.60 a | 121.5 |
| | 500 | 39.10 ± 0.1 k | -22.3 | 1 285 ± 75 hij | 18.8 | 2.96 ± 0.57 ab | 105.9 |
| | 250 | 40.20 ± 0.1 i | -20.1 | 1 282 ± 33 ij | 18.5 | 2.74 ± 0.28 abc | 90.9 |
| | 125 | 40.90 ± 0.3 h | -18.7 | 1 280 ± 93 ij | 18.3 | 2.59 ± 0.75 abc | 80.5 |
| | 62.5 | 41.40 ± 0.2 g | -17.7 | 1 272 ± 82 ij | 17.6 | 2.11 ± 0.29 c | 47.3 |
| 增效醚 PBO | 1 000 | 41.50 ± 0.2 g | -17.5 | 1 673 ± 78 cd | 54.6 | 3.15 ± 0.21 a | 119.4 |
| | 500 | 41.90 ± 0.3 f | -16.7 | 1 451 ± 85 fgh | 34.1 | 2.75 ± 0.68 abc | 91.3 |
| | 250 | 42.60 ± 0.2 e | -15.3 | 1 414 ± 122 fghi | 30.7 | 2.74 ± 0.41 abc | 91.0 |
| | 125 | 43.30 ± 0.2 d | -13.9 | 1 410 ± 150 fghi | 30.3 | 2.74 ± 0.70 abc | 90.9 |
| | 62.5 | 44.40 ± 0.2 c | -11.7 | 1 323 ± 161 ghij | 22.3 | 2.68 ± 0.62 abc | 86.4 |
| 对照 Control | 0 | 47.20 ± 0.2 b | -6.2 | 1 215 ± 107 jk | 12.3 | 2.26 ± 0.51 abc | 57.6 |
| 清水对照 Water control | 0 | 50.3 ± 0.2 a | - | 1 082 ± 49 k | - | 1.44 ± 0.14 d | - |

注: 同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P = 0.05$ 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column show significant difference at $P = 0.05$ level by Duncan's new multiple range tests.

对 2 种药液表面张力和扩展直径增减率较氮酮和 PBO 更为明显。药液表面张力降低, 在一定范围内可提高药液持留量, 但并不是越小越好, 过小可能会造成药液的流失^[24]。15% 哒螨灵 EC 中添加芦荟精油、silwet408 和 JFC-2 3 种助剂, 药液持留量略低于添加氮酮和 PBO。在 240 g/L 螺螨酯 SC 中, 除添加芦荟精油的药液持留量大于添加氮酮和 PBO 外, 添加其余 2 种助剂的持留量均小于添加氮酮和 PBO 的持留量。室内毒力测定发现, 添加助剂可以提高药液的毒力效果, 且不同助剂之间存在一定的差异。表面张力低、持留量大的药液毒力未必是最高的, 这还与药液剂型、害虫

自身特性有一定关系。木瓜秀粉蚧体壁有一层厚的蜡质层, 一些脂溶性低的药剂往往穿透能力弱, 很难进入体内达到靶标部位, 防控存在一定的难度。渗透剂类助剂可促进有效组分渗透到靶体内部或增强药液透过处理表面进入生物体内部能力, 明显提高农药药效和降低农药用量^[25], 同时也可以溶解昆虫体壁部分蜡质层^[26]。研究发现, JFC-2 对 2 种制剂药液毒力均具有较好的增效作用, 氮酮也属于渗透剂类中的一种, 但对 240 g/L 螺螨酯 SC 毒力增效不明显, 这可能与药液剂型有关, 240 g/L 螺螨酯 SC 较 15% 哒螨灵 EC 含有较少的溶剂, 渗透性略差。PBO 对 15% 哒螨

表3 添加不同助剂对药剂防治木瓜秀粉蚧的室内毒力增效作用

Table 3 Synergism of different adjuvants to the indoor virulence against *P. marginatus*

| 药剂 Pesticide | 助剂 Adjuvant | 回归方程 Regression equation | 相关系数 Correlation coefficient, <i>r</i> | LC ₅₀ / (mg/L) | 增效比 Synergism ratio/% |
|--|-------------------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|--------------------------|
| 240 g/L螺螨酯悬浮剂 spirodiclofen 240 g/LSC | — | $y = 1.37x + 3.01$ | 0.976 1 | 28.1 | — |
| | 芦荟精油 Aloe essential oil | $y = 1.30x + 3.23$ | 0.970 5 | 23.1 | 17.9 |
| | 有机硅 silwet408 Silicone silwet408 | $y = 1.18x + 3.40$ | 0.945 5 | 23.0 | 18.0 |
| | 渗透剂 JFC-2 | $y = 1.24x + 3.37$ | 0.910 2 | 20.8 | 26.1 |
| | 氮酮 Azone | $y = 1.67x + 2.54$ | 0.959 5 | 26.6 | 5.1 |
| | 增效醚 PBO | $y = 1.26x + 3.18$ | 0.967 8 | 25.9 | 7.8 |
| 15%哒螨灵乳油 pyridaben 15% EC | — | $y = 1.54x + 2.62$ | 0.839 5 | 35.6 | — |
| | 芦荟精油 Aloe essential oil | $y = 1.51x + 2.84$ | 0.843 1 | 27.0 | 24.1 |
| | 有机硅 silwet408 Silicone silwet408 | $y = 1.23x + 3.23$ | 0.829 3 | 27.5 | 22.7 |
| | 渗透剂 JFC-2 | $y = 1.33x + 3.23$ | 0.756 4 | 21.7 | 39.2 |
| | 氮酮 Azone | $y = 1.26x + 3.33$ | 0.648 8 | 21.2 | 40.3 |
| | 增效醚 PBO | $y = 1.45x + 3.089$ | 0.752 4 | 20.7 | 41.8 |

注：“—”表示不添加任何助剂。

Note: '—' indicates that no additives are added.

表4 添加 1 000 mg/L 助剂的供试药液对木瓜秀粉蚧的田间防效

Table 4 Field effects of adjuvants (1 000 mg/L) on *P. marginatus*

| 药剂质量浓度 Concentration/ (mg/L) | 防治效果 Control efficacy/% | | 增效比 Synergism ratio/% | 防治效果 Control efficacy /% | | 增效比 Synergism ratio/% |
|------------------------------------|---|--|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| | 240 g/L 螺螨酯悬浮剂 spirodiclofen 240 g/L SC | 240 g/L 螺螨酯悬浮剂 + JFC-2 spirodiclofen 240 g/L SC + JFC-2 | | 15% 哒螨灵乳油 pyridaben 15% EC | 15% 哒螨灵乳油 + 增效醚 pyridaben 15% EC + PBO | |
| 100 | 70.3 | 87.6 | 24.6 a | 66.7 | 85.9 | 28.9 a |
| 50 | 55.6 | 66.4 | 19.6 b | 51.9 | 65.1 | 25.5 b |
| 25 | 37.0 | 42.4 | 14.5 d | 44.4 | 54.3 | 22.1 c |
| 12.5 | 33.3 | 38.7 | 16.2 c | 25.9 | 30.4 | 17.3 d |
| 6.25 | 11.1 | 12.3 | 10.3 e | 14.8 | 16.6 | 12.1 e |

注：同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P = 0.05$ 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column show significant difference at $P = 0.05$ level by Duncan's new multiple range tests.

灵 EC 毒力增效最为明显，增效比高达 41.8%。PBO 作为 P450 酶的抑制剂，已被广泛用作有效的杀虫剂增效剂。除对 P450 酶系产生影响，还对昆虫中其他解毒酶系产生一定的影响^[27]。田间防效表明，JFC-2 和 PBO 对不同药液浓度防效均有一定的提高，可有效减少 240 g/L 螺螨酯 SC 和 15% 哒螨灵 EC 农药使用量 10.3%~24.6% 和 12.1%~28.9%。

本研究只对添加助剂后药液理化性质、室内毒力及田间防效作了研究，助剂是否对药液代谢或害虫体内代谢酶系产生影响还有待进一步研究。

参考文献 (References):

[1] 何雄奎. 药械与施药技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013:

139-146.

HE X K. Yaoxie yu Shiyao Jishu[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2013: 139- 146.

[2] 张靖. 喷雾助剂提高农药对靶标沉积性能与增效作用研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.

ZHANG J. Research on mechanism of enhancing deposition and synergistic effect of the spray adjuvants on pesticide[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.

[3] 张文君. 农药雾滴雾化与在玉米植株上的沉积特性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.

ZHANG W J. The study of pesticide droplets atomization and deposit characteristics in corn leaves[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.

[4] 袁会珠, 王忠群, 孙瑞红, 等. 喷雾部件及喷雾助剂对担架式喷雾机在桃园喷雾中的雾滴沉积分布的影响[J]. 植物保护, 2010, 36(1): 106-109.

YUAN H Z, WANG Z Q, SUN R H, et al. Influences of nozzle type and spray adjuvant on the distribution of spray droplets with stretcher mounted sprayer in peach orchards[J]. *Plant Prot*, 2010, 36(1): 106-109.

- [5] 石伶俐, 陈福良, 郑斐能, 等. 喷雾助剂对三唑磷在水稻叶片上沉积量的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(12): 4228-4233.
SHI L L, CHEN F L, ZHENG F N, et al. The influence of triazophos deposition on rice leaves by adding spray adjuvants[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(12): 4228-4233.
- [6] 张萍. 四种喷雾助剂提高啉菌酯在玉米叶表耐雨水冲刷能力的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
ZHANG P. Study on four spray adjuvants improving the rainfastness of azoxystrobin on maize leaf surfaces[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.
- [7] 刘晓燕, 曹塆程, 尹洪宗, 等. 有机硅提高除草剂在紫茎泽兰叶片上润湿性能的研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 692-696.
LIU X Y, CAO A C, YIN H Z, et al. Study on enhancement of wetting property of herbicide on *Eupatorium adenophorum* spreng leaves by silicone surfactant[J]. *Ecol Environ Sci*, 2010, 19(3): 692-696.
- [8] 王红春, 石旭旭, 娄远来, 等. 助剂对 20% 氟氧吡氧乙酸乳油润湿性能及对空心莲子草防效的影响[J]. *农药学报*, 2015, 17(3): 334-340.
WANG H C, SHI X X, LOU Y L, et al. Influence of adjuvants on the wettability and the control efficacy against *Alternanthera philoxeroides* of 20% fluroxypyr emulsifiable concentrate[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(3): 334-340.
- [9] 张萍, 姜兴印, 谭海丽, 等. 四种喷雾助剂对啉菌酯在玉米叶片上耐雨水冲刷能力及其对玉米安全性的影响[J]. *农药学报*, 2018, 20(2): 239-248.
ZHANG P, JIANG X Y, TAN H L, et al. Effects of four spray adjuvants on the rainfastness of azoxystrobin on maize leaf surfaces and their effect on maize safety[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2018, 20(2): 239-248.
- [10] 卢慧林, 欧阳革成, 谭炳林, 等. 矿物油对无机铜制剂防治柑橘疮痂病和柑橘全爪螨的增效作用[J]. *农药*, 2018, 57(5): 383-386.
LU H L, OUYANG G C, TAN B L, et al. Synergistic effect of mineral spray oil on inorganic copper fungicides to control *Elsinoe fawcettii* and *Panonychus citri*[J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(5): 383-386.
- [11] 周川浩, 武刚, 冯宏祖, 等. 5 种喷雾助剂对吡虫啉和啶虫脒防治棉蚜的影响[J]. *农药*, 2018, 57(8): 620-623.
ZHOU C H, WU G, FENG H Z, et al. Effects of five kinds of synergistic additives on field control of imidacridine and chlordimidine on *Aphis gossypii*[J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(8): 620-623.
- [12] 刘永强, 张贵森, 周超, 等. 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对三种杀虫剂的增效作用[J]. *昆虫学报*, 2011, 54(8): 902-909.
LIU Y Q, ZHANG G S, ZHOU C, et al. Synergistic action of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone silwet408 adjuvant Breakthru S240 to three insecticides[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54(8): 902-909.
- [13] 张靖, 吕和平, 曹立冬, 等. 六种喷雾助剂提高硝磺草酮防除稗草及反枝苋效果的作用机理初探[J]. *农药学报*, 2015, 17(3): 348-356.
ZHANG J, LÜ H P, CAO L D, et al. Synergism of six spray adjuvants on mesotrione in controlling *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus retroflexus*[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(3): 348-356.
- [14] 张忠亮, 李相全, 王欢, 等. 六种有机硅助剂对氟磺胺草醚的增效作用及其增效机理初探[J]. *农药学报*, 2015, 17(1): 115-118.
ZHANG Z L, LI X Q, WANG H, et al. Preliminary studies on synergism and mechanisms of six organosilicon additives on fomesafen[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(1): 115-118.
- [15] 刘影. 有机硅、黄原胶对杀菌剂增效机制的研究[D]. 合肥: 安徽农
业大学, 2010.
LIU Y. Synergism mechanism of organic silicon and xanthan gum on fungicide[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2010.
- [16] 陈乐乐. 山东地区番茄叶霉病菌对四种杀菌剂的敏感性测定及田间防治技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
CHEN L L. Sensitivity to four fungicides of *Cladosporium fulvum* from shandong province and application technique in filed[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2017.
- [17] GALANIHE L D, JAYASUNDERA M U P, VITHANA A, et al. Occurrence, distribution and control of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae), an invasive alien pest in Sri Lanka[J]. *Trop Agric Res & Ext*, 2011, 13(3): 81.
- [18] GOERGEN G, TAMO M, KYOFA-BOAMAH M E, et al. Papaya mealybug: a new invading pest in west Africa[J]. *Biocontrol News and Information*, 2011, 32(2): 9-10.
- [19] MYRICK S, NORTON G W, SELVARAJ K N, et al. Economic impact of classical biological control of papaya mealybug in India[J]. *Crop Protection*, 2014, 56: 82-86.
- [20] FAND B B, SUROSHE S S. The invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a threat to tropical and subtropical agricultural and horticultural production systems: A review[J]. *Crop Prot*, 2015, 69: 34-43.
- [21] WU F Z, LIU Z H, SHEN H, et al. Morphological and molecular identification of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Yunnan, China[J]. *Florida Entomologist*, 2014, 97(4): 1469-1473.
- [22] 卢辉, 卢芙蓉, 梁晓, 等. 木瓜秀粉蚧在海南的适生性及空间分布型研究[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(10): 1962-1968.
LU H, LU F P, LIANG X, et al. The potential geographic distribution and spatial pattern of *Paracoccus marginatus* in Hainan Province[J]. *Chin J Trop Crop*, 2016, 37(10): 1962-1968.
- [23] SAENGYOT S, BURIKAM I. Host plants and natural enemies of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Thailand[J]. *Thai Journal of Agricultural Science*, 2011, 44(3): 197-205.
- [24] 卢向阳, 徐筠, 陈莉. 几种除草剂药液表面张力、叶面接触角与药效的相关性研究[J]. *农药学报*, 2002, 4(3): 67-71.
LU X Y, XU J, CHEN L. Study on relationships between surface tension, contact angle and efficacy on weeds of several herbicide solutions[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2002, 4(3): 67-71.
- [25] 刘学涛, 刘峰, 慕卫, 等. 几种渗透剂对阿维菌素的增效作用[J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(4): 480-482.
LIU X T, LIU F, MU W, et al. Permeability of penetrating agents and their synergism to avermectin[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, 12(4): 480-482.
- [26] 陈娇, 宋敦伦, 李会仙, 等. 渗透剂对高效氯氰菊酯毒力和三种鳞翅目害虫上表皮超微结构的影响[J]. *昆虫学报*, 2008, 51(2): 216-221.
CHEN J, SONG D L, LI H X, et al. Effects of penetration enhancers on the toxicity of beta-cypermethrin and epicuticle ultrastructure of three lepidopterous insects[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(2): 216-221.
- [27] 李阳, 史雪岩, 高希武. 增效醚对二化螟幼虫 7-乙氧基香豆素-O-脱乙酰酶和羧酸酯酶活性的影响[J]. *昆虫学报*, 2016, 59(11): 1159-1165.
LI Y, SHI X Y, GAO X W. *In vivo* effects of piperonyl butoxide on the activities of 7-ethoxycoumarin O-deethylase and carboxylesterase in larval *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2016, 59(11): 1159-1165.