三种喷雾助剂与杀虫剂混配防治烟粉虱的减量增效作用*

景亮亮** 柴军发 赵斌荣 田晓曦 洪 波 贾彦霞***

（宁夏大学农学院，银川 750021）

摘 要 【**目的**】为明确强力源、有机硅和怀农特 3 种喷雾助剂对吡虫啉、阿维菌素、苦参碱的减量增效作用。【**方法**】采用浸虫浸叶法和喷雾法开展烟粉虱 *Bemisia tabaci* 室内毒力测定和田间药效试验。【**结果**】3 种喷雾助剂对 3 种药剂的增效作用从高到低依次为强力源>有机硅>怀农特。施用吡虫啉、阿维菌素和苦参碱 48 h 后，烟粉虱若虫的 LC_{50} 分别为 37.714 6、1.806 2 和 10.563 2 mg/L，添加强力源后烟粉虱若虫 LC_{50} 分别降低到 13.018 8、1.099 0 和 2.711 6 mg/L；添加有机硅后烟粉虱若虫 LC_{50} 分别降低到 16.190 0、1.271 9 和 3.160 9 mg/L；添加怀农特后 LC_{50} 分别降低到 20.085 1、1.324 7 和 3.760 3 mg/L。田间试验结果表明，3 种药剂减量 20%和 30%添加 3 种喷雾助剂均显著高于 3 种单剂的防效，3 种药剂减量 40%添加强力源和有机硅对烟粉虱的防效显著高于每种单剂，添加怀农特略高于或者与每种单剂的防效持平。施药后 3 d，各处理对烟粉虱的防效达到最高，吡虫啉、阿维菌素、苦参碱减量 20%添加强力源对烟粉虱的防效分别高达 97.11%、90.83%、88.17%。施药 7 d 后吡虫啉减量 40%添加 3 种喷雾助对烟粉虱的防效仍保持在 75.55%-80.76%，阿维菌素减量 40%添加 3 种喷雾助剂保持在 71.84%-79.12%，苦参碱减量 40%添加 3 种喷雾助剂保持在 68.60%-75.74%。【**结论**】3 种药剂的常规用量减量 20%-30%，并通过添加强力源、有机硅和怀农特 3 种喷雾助剂可提高对烟粉虱的防治效果。

关键词 喷雾助剂；杀虫剂；烟粉虱；室内毒力测定；田间防治效果

Synergistic effect of three kinds of spray adjuvants mixed with three kinds of pesticides on *Bemisia tabaci*

JING Liang-Liang** CHAI Jun-Fa ZHAO Bin-Rong TIAN Xiao-Xi HONG Bo JIA Yan-Xia***

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

Abstract **[Objectives]** To determine the synergistic effect of combining three spray adjuvants; Qiangliyuan, Organosilicone and Huainongte, with imidacloprid, abamectin and matrine. **[Methods]** An indoor toxicity bioassay and field trials were carried out using the leaf-dipping, pest-dipping and spray, methods. **[Results]** The relative synergistic effect of the three spray adjuvants was as follows: Qiangliyuan> Organosilicone> Huainongte. Applying imidacloprid, abamectin and matrine for 48 h resulted in LC_{50} values for *Bemisia tabaci* nymphs of 37.714 6, 1.806 2, and 10.563 2 mg/L, respectively. These LC_{50} values were reduced to 13.018 8, 1.099 0, and 2.711 6 mg/L by the addition of Qiangliyuan, to 16.190 0, 1.271 9, and 3.1609 mg/L by the addition of Organosilicone and to 20.085 1, 1.324 7, and 3.760 3 mg/L by the addition of Huainongte. Field trials showed that the effectiveness of all three pesticides was significantly improved by the addition of the three spray adjuvants. The addition of Qiangliyuan and Organosilicone significantly increased the effectiveness of all three pesticides against *B. tabaci*, and the addition of Huainongte either slightly improved, or did not change, the effectiveness of each pesticide. The effectiveness of imidacloprid, abamectin, and matrine with added Qiangliyuan peaked three days after application, reaching 97.11%, 90.83% and 88.17%, respectively, despite the dosage of each pesticide being reduced by 20% by

*资助项目 Supported projects：宁夏“十三五”重点研发计划重大项目（2018BBF02021-02）

**第一作者 First author，E-mail：liangliangjing_418@163.com

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

收稿日期 Received：2020-11-06；接受日期 Accepted：2021-04-26

the addition of this adjuvant. Addition of all three adjuvants reduced the dosage of each pesticide by 40%. Nonetheless, the effectiveness of imidacloprid, abamectin and matrine seven days after application was 75.55%-80.76%, 71.84%-79.12% and 68.60%-75.74%. **[Conclusion]** The effectiveness of imidacloprid, abamectin and matrine against *B. tabaci* can be significantly improved, and the dosage of these pesticides reduced by 20%-30%, by adding the adjuvants Qiangliyuan, Organosilicone and Huainongte.

Key words spray adjuvant; pesticide; *Bemisia tabaci*; toxicity bioassay; field control efficacy

烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是一种世界性农业害虫，寄主植物广泛。通过取食植物汁液、分泌蜜露诱发煤污病及传播植物病毒等方式危害农作物，造成了巨大的经济损失（Brown *et al.*，1995；褚栋和张友军，2018）。目前，防治烟粉虱仍以化学药剂为主，但由于农药的不合理、不规范使用，造成了药剂的大量浪费、环境污染和农药残留量超标等问题越来越严重（关雪和胡琼波，2020）。研究表明，因施药方法和施药器械不合理、不规范使用造成绝大部分农药的有效成分经过流失进入环境，农药的有效利用率不足 30%（何雄奎，2004）。如何在合理有效使用农药的同时减少农药使用量、减轻环境污染，并降低农药的残留量已成为农药应用技术推广中的热点问题（马伟伟等，2011）。提高农药有效利用率是农药应用研究的重要部分，其关键是提高药液的润湿性，增加药液在靶标植物上的润湿或沉积，使其最大限度的滞留在叶片表面（张靖等，2015），因此，筛选增效助剂是农药减量的有效途径。

喷雾助剂的使用是实现农药减施增效的重要途径之一，能够降低药液的表面张力、减小接触角、缩短液滴干燥时间以及增大药液在叶面上的滞留量，从而可以提高药效、降低农药的使用量、节约成本、减少农药对环境的污染，具有广阔的应用前景（鲁梅等，2004；张萍等，2018）。周川浩等（2018）研究了 5 种喷雾助剂对吡虫啉和啶虫脒防治棉蚜 *Aphis gossypii* 的增效作用，认为扩展王和迈飞对棉田蚜虫的增效作用和延长持效期效果最佳。李世奎等（2019）研究发现青皮桔油、有机硅、激健 3 种增效剂与 3 种烟碱类杀虫剂混配对棉蚜具有较好的增效作用。本研究选用生产中多频次使用的 70%吡虫啉水分散粒剂、5%阿维菌素乳油和 1.3%苦参碱水剂作为研究对象，分别添加强力源、有机硅和怀农特 3 种喷雾助剂，开展室内毒力测定和田间药效试验，以明确这 3 种喷雾助剂对 3 种药剂的增效作用，旨在探索在无公害蔬菜产业中减量使用农药来防治烟粉虱的最佳途径。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

烟粉虱于 2020 年 7 月 10 日采自银川市永宁县，并带回室内。在温度为（28±5）℃，相对湿度 65%-90%的条件下，用番茄（品种为合作 918）饲养于宁夏大学国家科技园的温室内。

1.2　供试药剂

70%吡虫啉水分散粒剂（德国拜耳公司）；5%阿维菌素乳油（河北兴柏农业科技有限公司）；1.3%苦参碱水剂（天津恒源伟业生物科技公司）；强力源（表面活性剂，32%聚乙二醇酸羟基醚+18%异构八醇，一帆生物科技集团有限公司）；有机硅（乙氧基改性聚三硅氧烷，河北石家庄正安农业科技有限公司）；怀农特（天然植物油，浙江农资集团金泰贸易有限公司）。

1.3　试验方法

1.3.1　室内毒力测定　采用浸虫浸叶法进行室内毒力测定（Cahill *et al.*，1996）。3 种试验药剂的浓度（有效成分，下同）分别设置为：70%吡虫啉 WG 140.00、70.00、35.00、17.50 和 8.75 mg/L；5%阿维菌素 EC 10.00、5.00、2.50、1.25 和 0.625 mg/L；1.3%苦参碱 AS 26、13、6.5、3.25 和 1.625 mg/L 作为阳性对照，然后将以上 3 种

试验药剂的不同浓度药液分别取 50 mL 置于不同的烧杯中，有机硅和怀农特的添加量为 50 mg，强力源的添加量为 25 mg，以添加蒸馏水的处理作为阴性对照，每个处理设置 3 个重复。

选取带有烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的番茄叶片，叶柄用保湿棉球包住，叶片剪成与培养皿（φ=90 mm）底部大小一致的形状。将叶片置于显微镜下，清除烟粉虱的卵和成虫，每个叶片只保留 30 头 3-4 龄若虫。将叶片浸泡于上述不同药剂中 10 s，取出后置于培养皿（φ=90 mm）中，置于温度为（25±1）℃，相对湿度 80%，光周期为 14 L∶10 D 的恒温培养下保湿培养 48 h 后，检查培养皿中烟粉虱若虫死亡情况。若虫体干瘪或颜色变枯黄者均认为死亡，并用 Abbott 公式计算校正死亡率，求出毒力回归方程及 LC_{50}。

1.3.2 田间药效试验设计与调查方法 在番茄盛果期，选取长势一致的番茄苗进行药效试验，试验过程中采用常规的水肥管理。试验药剂施用剂量均为企业推荐（有效成分）。将 70%吡虫啉 WG 配置成 84.0 mg/L，并减量 20%、30%、40%分别配制成浓度为 67.20、58.80、50.40 mg/L。5%阿维菌素 EC 15 mg/L 减量 20%、30%、40%分别配制成浓度为 12.00、10.50、9.00 mg/L。1.3%苦参碱 AS 配置成 7.8 mg/L，并减量 20%、30%、40%配制成浓度 6.24、5.46、4.68 mg/L 作为阳性对照，以清水处理作为阴性对照。然后将质量分数为 0.1%、0.1%、0.05%的有机硅、怀农特、强力源分别添加到以上 3 种药剂的不同浓度中。每个处理设置 3 个重复，每个小区面积为 50 m^2，按照随机区组排列，各小区间以不做处理的番茄为间隔，每隔 5 行设一个小区，使各处理互不干扰。利用 3WBD-20 背负式电动喷雾器将药液均匀喷洒在叶片表面。对照组（CK）施用相同用量的清水。供试药剂均采用 2 次稀释法，施药量 750 L/hm^2。

试验小区内 5 点取样，每点标定 2 株，在标定的植株上、中、下部各统计 3 片叶片，统计烟粉虱成虫的数量。施药前一天统计烟粉虱基数，用药后 1、3、5、7 d 后进行活虫数量统计，计算虫口减退率及防效。为方便统计，在早晨烟粉虱活动较弱时进行计数。

1.4 数据处理

试验数据利用DPS软件计算毒力回归方程的斜率、致死中浓度及95%置信区间。采用 Duncan 氏新复极差法（$P<0.05$）对田间各处理的防治效果进行差异显著性分析。计算公式如下：

$$虫口减退率(\%)=\frac{药前基数-药后残虫数}{药前基数}\times 100；$$

$$防效(\%)=\frac{处理区虫口减退率-对照区虫口减退率}{100-对照区虫口减退率}\times 100。$$

2 结果与分析

2.1 室内毒力测定结果

3 种喷雾助剂与 3 种药剂混配对烟粉虱若虫的毒力均表现出以下的顺序：强力源>有机硅>怀农特，不添加喷雾助剂的 3 种药剂对烟粉虱若虫的毒力最低。以不添加喷雾助剂的 3 种药剂的 LC_{50} 为基数，计算添加 3 种喷雾助剂的药剂的相对毒力。结果表明，70%吡虫啉 WG、5%阿维菌素 EC 和 1.3%苦参碱 AS 对烟粉虱若虫的毒力最低，LC_{50} 分别为 37.714 6、1.806 2 和 10.563 2 mg/L。3 种药剂添加强力源均对烟粉虱若虫的毒力最高，LC_{50} 分别降低到 13.018 8、1.099 0 和 2.711 6 mg/L，分别下降了 64.48%、39.15%和 74.33%，相对毒力指数分别为 2.90、1.64 和 3.90。3 种药剂添加有机硅后，LC_{50} 分别降低到 16.190 0、1.271 9 和 3.160 9 mg/L，下降了 57.07%、29.58%和 70.08%，相对毒力指数分别为 2.33、1.42 和 3.34。添加怀农特后，LC_{50} 分别降低到 20.085 1、1.324 7 和 3.760 3 mg/L，下降了 46.74%、26.66%和 64.40%，相对毒力指数分别为 1.88、1.36 和 2.81。这一结果表明添加 3 种喷雾助剂能够提高药效，对烟粉虱具有较高的毒力，从而达到农药减施增效的目的（表 1-表 3）。

2.2 田间药效试验结果

田间试验结果表明，添加 3 种喷雾助剂均能显著提高药剂对烟粉虱的防效（$P<0.05$），添加喷雾助剂后的防效顺序为 70%吡虫啉 WG>5%阿

表 1　3 种喷雾助剂与吡虫啉混配对烟粉虱若虫的室内毒力测定结果（48 h）[1)]

Table 1　Toxicity of three kinds of spray adjuvant mixed with imidacloprid against *Bemisia tabaci* (48 h)

供试药剂 Pesticides	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence interval)	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	χ^2 (*df*=3)	*P*-值 *P*-value	相对毒力 Relative toxicity
70%吡虫啉 WG Imidacloprid 70% WG	37.714 6 （30.218 3-47.498 0）	1.431 0±0.174 4	0.983 2	2.843 7	0.416 4	1.00
70%吡虫啉 WG+强力源 Imidacloprid 70% WG +Qiangliyuan	13.018 8 （8.545 3-17.374 8）	1.391 6±0.177 8	0.982 4	2.001 3	0.572 1	2.90
70%吡虫啉 WG+有机硅 Imidacloprid 70% WG +Organosilicone	16.190 0 （11.217 2-21.081 2）	1.348 6±0.172 1	0.997 1	0.408 4	0.938 5	2.33
70%吡虫啉 WG+怀农特 Imidacloprid 70% WG +Huainongte	20.085 1 （14.683 1-25.570 8）	1.352 4±0.170 0	0.988 7	1.810 9	0.612 6	1.88

[1)] 以具有最大 LC_{50} 药剂的相对毒力为 1，其他药剂的相对毒力用最大的 LC_{50} 除以该药剂的 LC_{50} 既得。

[1)]The relative toxicity was set to one for the pesticide with the highest LC_{50}, while the relative toxicity of other pesticides was calculated by comparison with the highest LC_{50}.

表 2　3 种喷雾助剂与阿维菌素混配对烟粉虱若虫的室内毒力测定结果（48 h）

Table 2　Toxicity of three kinds of spray adjuvant mixed with abamectin against *Bemisia tabaci* (48 h)

供试药剂 Pesticides	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence interval)	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	χ^2 (*df*=3)	*P*-值 *P*-value	相对毒力 Relative toxicity
5%阿维菌素 EC Abamectin 5% EC	1.806 2 （1.277 2-2.397 4）	1.060 3±0.161 2	0.970 1	2.824 6	0.419 5	1.00
5%阿维菌素 EC+强力源 Abamectin 5% EC +Qiangliyuan	1.099 0 （0.720 9-1.470 9）	1.214 9±0.167 9	0.957 7	6.058 5	0.108 8	1.64
5%阿维菌素 EC+有机硅 Abamectin 5% EC + Organosilicone	1.271 9 （0.779 3-1.769 3）	0.962 5±0.159 7	0.942 1	4.730 7	0.192 6	1.42
5%阿维菌素 EC+怀农特 Abamectin 5% EC + Huainongte	1.324 7 （0.829 5-1.828 3）	0.975 9±0.159 8	0.985 6	1.151 2	0.764 7	1.36

维菌素 EC>1.3%苦参碱 AS，施药后 3 d，各处理对烟粉虱的防效达到最高，70%吡虫啉 WG 减量 20%并添加强力源和有机硅的药剂对烟粉虱的防效分别高达 97.11%和 94.44%。药后 7 d，3 种药剂减量 20%添加强力源、有机硅、怀农特对烟粉虱的防效保持在 84.28%、81.23%、76.74%以上（表 4-表 6）。

2.2.1　喷雾助剂对吡虫啉的减量增效作用　由表 4 可知，施药后 1 d，70%吡虫啉 WG 减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 82.75%、78.68%、76.24%，与单剂的防效存在显著性差异（$P<0.05$）。施药后 3 d，防效达到最高，减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 97.11%、94.44%、90.92%，与单剂的防效存在显著性差异（$P<0.05$）。施药 5 d 后各处理的防效均略低于 3 d 的防效。施药 7 d 后，70%吡虫啉 WG 减量 20%添加这 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效保持在 82.72%以上。

70%吡虫啉 WG 减量 30%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 73.48%-91.25%，药后 3 d 防效达到最高。减量 40%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 70.39%-88.99%，其中，添加强力源

表 3 3 种喷雾助剂与苦参碱混配对烟粉虱若虫的室内毒力测定结果（48 h）

Table 3 Toxicity of three kinds of spray adjuvant mixed with matrine against *Bemisia tabaci* (48 h)

供试药剂 Pesticides	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence interval)	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	χ^2 (*df*=3)	*P*-值 *P*-value	相对毒力 Relative toxicity
1.3%苦参碱 AS Matrine 1.3% AS	10.563 2 （7.545 1-16.931 2）	0.913 6±0.163 0	0.983 4	1.161 5	0.762 3	1.00
1.3%苦参碱 AS+强力源 Matrine 1.3% AS +Qiangliyuan	2.711 6 （1.603 0-3.805 0）	1.024 5±0.162 4	0.973 0	2.542 2	0.467 7	3.90
1.3%苦参碱 AS+有机硅 Matrine 1.3% AS + Organosilicone	3.160 9 （1.845 2-4.482 8）	0.914 3±0.158 8	0.988 1	0.904 9	0.824 2	3.34
1.3%苦参碱 AS+怀农特 Matrine 1.3% AS + Huainongte	3.760 3 （2.438 9-5.132 0）	0.989 6±0.159 9	0.979 4	1.776 8	0.620 0	2.81

的效果最好，有机硅次之，怀农特效果较差。

2.2.2 喷雾助剂对阿维菌素的减量增效作用 由表 5 可知，施药后 1 d，5%阿维菌素 EC 减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 78.72%、75.58%、73.96%，与单剂的防效存在显著性差异（*P*<0.05）。施药后 3 d，防效达到最高，减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 90.83%、87.20%、84.12%，与单剂的防效存在显著性差异（*P*<0.05）。施药 5 d 后各处理的防效均略低于 3 d 的防效。施药 7 d 后，5%阿维菌素 EC 减量 20%添加这 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效保持在 80.88%以上。

5%阿维菌素 EC 减量 30%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 70.01%-86.45%，药后 3 d 防效达到最高。减量 40%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 66.67%-83.22%，其中，添加强力源的效果最好，有机硅次之，怀农特效果较差。

2.2.3 喷雾助剂对苦参碱的减量增效作用 由表 6 可知，施药后 1 d，1.3%苦参碱 AS 减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 76.87%、72.63%、72.20%，与单剂的防效存在显著性差异（*P*<0.05）。施药后 3 d，防效达到最高，减量 20%添加强力源、有机硅和怀农特对烟粉虱的防效分别达 88.17%、85.26%、82.10%，与单剂的防效存在显著性差异（*P*<0.05）。施药 5 d 后各处理的防效均略低于 3 d 的防效。施药 7 d 后，1.3%苦参碱 AS 减量 20%添加这 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效保持在 76.74%以上。

1.3%苦参碱 AS 减量 30%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 66.83%-85.55%，药后 3 d 防效达到最高。减量 40%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效为 63.51%-80.78%，其中，添加强力源的效果最好，有机硅次之，怀农特效果较差。

总的来看，3 种药剂减量 20%和 30%添加 3 种喷雾助剂对烟粉虱的防效均显著高于 3 种单剂的防效（*P*<0.05）。3 种药剂减量 40%添加强力源和有机硅对烟粉虱的防效高于每种单剂，添加怀农特略高于或者与每种单剂的防效持平。

3 讨论

喷雾助剂是添加在制剂中或喷药桶中，提高生物活性或应用特性的物质（张春华等，2012），它能降低药液表面张力和接触角，使药剂获得更好的润湿、展布、滞留和吸收，从而提高农药在供试作物叶片上的沉积量（Holloway *et al.*，2000；张靖等，2015）。合理选用喷雾助剂可以减少化学药剂的使用，降低农药残留，减少环境污染。李进等（2018）研究了不同增效剂对噻虫嗪防治棉蚜的减量增效作用，结果表明在防治棉蚜效果相当情况下，添加激健和安融乐增效剂可使 25%噻虫嗪 WG 用量分别减少 10%-20%和 30%。张占英等（2017）研究发现飞机喷药添加“迈飛”，在减少农药用量 30%的情况下，均可达到较理想的防治效果。

表 4　3 种喷雾助剂与吡虫啉混配对烟粉虱的田间药效试验 [2)]

Table 4　Field efficacy test of three kinds of spray adjuvant mixed with imidacloprid against *Bemisia tabaci*

处理 Treatment	药前虫口基数 Number of *Bemisia tabaci* before treatment	用药后 1 d One day after application			用药后 3 d Three days after application			用药后 5 d Five days after application			用药后 7 d Seven days after application		
		活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy
70%吡虫啉 WG Imidacloprid 70% WG	244	74	69.64	68.53h	50	79.62	79.28g	58	76.34	77.60h	67	72.65	75.75g
A+强力源 A+Qiangliyuan	289	69	76.12	75.25d	31	89.16	88.99d	45	84.43	85.26e	63	78.30	80.76d
B+强力源 B+Qiangliyuan	215	44	79.41	78.66b	19	91.40	91.25c	24	88.84	89.44c	34	84.36	86.14b
C+强力源 C+Qiangliyuan	329	55	83.36	82.75a	9	97.16	97.11a	17	94.72	95.00a	36	89.06	90.30a
A+有机硅 A+Organosilicone	214	58	72.99	72.01f	31	85.68	85.44e	44	79.37	80.48g	55	74.35	77.26f
B+有机硅 B+Organosilicone	175	42	76.12	75.25d	19	89.31	89.13d	27	84.35	85.19e	37	78.58	81.01d
C+有机硅 C+Organosilicone	219	45	79.43	78.68b	12	94.53	94.44b	20	91.01	91.49b	33	84.96	86.66b
A+怀农特 A+Huainongte	236	67	71.43	70.39g	44	81.43	81.12f	49	79.06	80.18g	65	72.42	75.55g
B+怀农特 B+Huainongte	228	58	74.41	73.48e	33	85.60	85.37e	37	83.76	84.63f	52	77.05	79.66e
C+怀农特 C+Huainongte	253	58	77.07	76.24c	23	91.07	90.92c	32	87.48	88.14d	49	80.51	82.72c
对照 CK	266	256	3.52	–	261	1.63	–	281	–5.64	–	300	–12.80	–

[2)] A：70%吡虫啉 WG 药剂减量 40%；B：70%吡虫啉 WG 药剂减量 30%；C：70%吡虫啉 WG 药剂减量 20%。同列数据后标有不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。下表同。

[2)] A was reducted 40% of 70% imidacloprid WG; B was 30% reducted of 70% imidacloprid WG; C was 20% reducted of 70% imidacloprid WG. Data with different lowercase letters in the same column of pesticides indicate significant difference at the level of 0.05 for each treatment. The same below.

表 5　3 种喷雾助剂与阿维菌素混配对烟粉虱的田间药效试验 [3)]

Table 5　Field efficacy test of three kinds of spray adjuvant mixed with abamectin against *Bemisia tabaci*

处理 Treatment	药前虫口基数 Number of *Bemisia tabaci* before treatment	用药后 1 d One day after application			用药后 3 d Three days after application			用药后 5 d Five days after application			用药后 7 d Seven days after application		
		活虫数（头） Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%） Reducing rates of the pest	防效（%） Control efficacy	活虫数（头） Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%） Reducing rates of the pest	防效（%） Control efficacy	活虫数（头） Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%） Reducing rates of the pest	防效（%） Control efficacy	活虫数（头） Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%） Reducing rates of the pest	防效（%） Control efficacy
5%阿维菌素 EC Abamectin 5% EC	248	84	65.95	64.70f	60	75.79	75.39f	66	73.36	74.78f	79	68.11	71.72g
D+强力源 D+Qiangliyuan	231	62	73.27	72.29d	38	83.49	83.22c	48	79.32	80.42d	54	76.45	79.12e
E+强力源 E+Qiangliyuan	205	49	76.25	75.38bc	27	86.67	86.45b	31	84.75	85.56b	45	78.02	80.51cd
F+强力源 F+Qiangliyuan	219	45	79.47	78.72a	20	90.98	90.83a	27	87.51	88.18a	35	83.95	85.77a
D+有机硅 D+Organosilicone	199	59	70.43	69.35e	40	79.94	79.60d	48	76.04	77.32e	57	71.35	74.60f
E+有机硅 E+Organosilicone	178	46	74.00	73.06cd	29	83.89	83.62c	36	79.97	81.04d	41	76.78	79.41de
F+有机硅 F+Organosilicone	241	57	76.44	75.58b	30	87.40	87.20b	35	85.42	86.20b	44	81.50	83.60b
D+怀农特 D+Huainongte	167	54	67.84	66.67f	36	78.34	77.98e	44	73.81	75.21f	53	68.23	71.84g
E+怀农特 E+Huainongte	207	60	71.07	70.01e	40	80.37	80.04d	48	76.81	78.05e	57	72.76	75.85f
F+怀农特 F+Huainongte	264	66	74.88	73.96bcd	41	84.38	84.12c	46	82.58	83.51c	57	78.43	80.88c
对照 CK	266	256	3.52	–	261	1.63	–	281	–5.64	–	300	–12.80	–

[3)] D：5%阿维菌素 EC 药剂减量 40%；E：5%阿维菌素 EC 药剂减量 30%；F：5%阿维菌素 EC 药剂减量 20%。

[3)] D was reducted 40% of 5% abamectin EC; E was 30% reducted of 5% abamectin EC; F was 20% reducted of 5% abamectin EC.

表 6　3 种喷雾助剂与苦参碱混配对烟粉虱的田间药效试验 [4)]

Table 6　Field efficacy test of three kinds of spray adjuvant mixed with matrine against *Bemisia tabaci*

处理 Treatment	药前虫口基数 Number of *Bemisia tabaci* before treatment	用药后 1 d One day after application			用药后 3 d Three days after application			用药后 5 d Five days after application			用药后 7 d Seven days after application		
		活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy	活虫数（头）Number of live insects (ind.)	虫口减退率（%）Reducing rates of the pest	防效（%）Control efficacy
1.3%苦参碱 AS Matrine 1.3% AS	209	75	64.13	62.83g	57	72.77	72.32g	65	68.97	70.62i	77	63.23	67.40h
G+强力源 G+Qiangliyuan	211	59	72.19	71.18cd	40	81.09	80.78d	48	77.33	78.54e	58	72.64	75.74de
H+强力源 H+Qiangliyuan	185	48	74.30	73.36b	26	85.79	85.55b	38	79.31	80.41d	44	76.11	78.82c
I+强力源 I+Qiangliyuan	241	54	77.68	76.87a	28	88.36	88.17a	34	85.87	86.63a	43	82.27	84.28a
G+有机硅 G+Organosilicone	232	78	66.56	65.34f	56	75.89	75.49e	64	72.46	73.93g	73	68.42	72.00f
H+有机硅 H+Organosilicone	192	55	71.35	70.30d	38	80.37	80.05d	43	77.60	78.79e	54	72.05	75.22e
I+有机硅 I+Organosilicone	209	55	73.59	72.63bc	30	85.50	85.26b	36	82.92	83.83b	44	78.83	81.23b
G+怀农特 G+Huainongte	213	75	64.79	63.51g	55	73.98	73.55f	62	71.00	72.55h	75	64.58	68.60g
H+怀农特 H+Huainongte	188	60	67.99	66.83e	44	76.85	76.46e	48	74.33	75.70f	58	69.29	72.77f
I+怀农特 I+Huainongte	229	61	73.18	72.20bc	40	82.39	82.10c	44	80.57	81.61c	60	73.76	76.74d
对照 CK	266	256	3.52	–	261	1.63	–	281	–5.64	–	300	–12.80	–

[4)] G：1.3%苦参碱 AS 药剂减量 40%；H：1.3%苦参碱 AS 药剂减量 30%；I：1.3%苦参碱 AS 药剂减量 20%。

[4)] G was reducted 40% of 1.3% matrine AS; H was 30% reducted of 1.3% matrine AS; I was 20% reducted of 1.3% matrine AS.

降低化学农药使用量，提高农药利用率是病虫害防治过程中的关键。合理添加喷雾助剂是降低农药使用量、提高农药利用率的重要方法（程玲等，2018）。本研究表明，3 种喷雾助剂与 3 种药剂混配对烟粉虱具有较高的毒力，其中 3 种药剂添加强力源对烟粉虱若虫的毒力最高，LC_{50} 分别降低到 13.018 8、1.099 0 和 2.711 6 mg/L。田间试验结果表明，施药后 3 d，各处理对烟粉虱的防效达到最高，70%吡虫啉 WG、5%阿维菌素 EC 和 1.3%苦参碱 AS 分别减量 20%添加强力源对烟粉虱的防效高达 97.11%、90.83%、88.17%，此结果高于周川浩等（2018）在吡虫啉和啶虫脒药剂中添加 5 种喷雾助剂对棉蚜的防治效果。同时初步明确了强力源和有机硅这 2 种喷雾助剂对 3 种药剂的增效作用最强，3 种药剂减量 20%-40%添加这 2 种喷雾助剂对烟粉虱的防效显著高于 3 种单剂的防效。因此，田间喷雾时优先选用强力源和有机硅，此研究结果为农药减施减量来防治烟粉虱提供了重要的理论支持。

综上所述，3 种药剂推荐减量 20%-30%并添加强力源 500 mg/L、或者添加有机硅 1 000 mg/L，对烟粉虱具有较高的防治效果，从而减少农药对环境的污染和对非靶标生物的伤害，且增效剂量少，价格便宜，一定程度上契合现代农业的发展需求。有机硅类、植物油类、表面活性剂类等喷雾助剂具有特殊的亲水和亲油基团结构，添加后能提高杀虫剂的有效利用率和药效，尤其对刺吸式口器害虫具有显著的增效作用（封云涛等，2015；张靖，2015；王彦兵等，2016；李进等，2018；卢慧林等，2018）。本文选用的强力源、有机硅、怀农特 3 种喷雾助剂因其含有特殊的亲水和亲油基团，使药液能够更好的润湿、展布，对烟粉虱防效高，将有可能为农药制剂的高效研发提供新的思路或途径，但本文并未研究添加增效剂对于靶标植物的农药残留情况。因此，关于添加 3 种喷雾助剂对于靶标植物的农药残留量还有待进一步研究。

参考文献 (References)

Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC, 1995. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: Biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annual Review of Entomology*, 40: 511–534.

Cahill M, Jarvis W, Gorman K, Denholm I, 1996. Resolution of baseline responses and documentation of resistance to buprofezin in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research*, 86(2): 117–122.

Cheng L, Xue GS, Liu YJ, Zhang AS, 2018. Influencing factors and improving measures of pesticide decrement and synergism in vegetable pest control. *Journal of Agriculture*, 8(2): 11–14. [程玲, 薛光山, 刘永杰, 张安盛, 2018. 蔬菜病虫害防治中农药减量增效的影响因素及改进措施. 农学学报, 8(2): 11–14.]

Chu D, Zhang YJ, 2018. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years. *Plant Protection*, 44(5): 51–55. [褚栋, 张友军, 2018. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展. 植物保护, 44(5): 51–55.]

Feng YT, Li GY, Guo XJ, Liu ZF, Du EQ, Fan RJ, Zhang RX, 2015. Study on application of two kinds of surfactant in dose-reduced chemical control of *Plutella xylostella* (Linnaeus). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 17(5): 603–609. [封云涛, 李光玉, 郭晓君, 刘中芳, 杜恩强, 范仁俊, 张润祥, 2015. 两种表面活性助剂在农药减量化防治小菜蛾中的应用. 农药学学报, 17(5): 603–609.]

Guan X, Hu QB, 2020. Research progress of plant virus disease transmitted by *Bemisia tabaci* and chemical control. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47(6): 63–69. [关雪, 胡琼波, 2020. 烟粉虱传播的植物病毒病及其化学防治研究进展. 广东农业科学, 47(6): 63–69.]

He XK, 2004. Improving severe draggling actuality of plant protection machinery and its application techniques. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 20(1): 13–15. [何雄奎, 2004. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状. 农业工程学报, 20(1): 13–15.]

Holloway PJ, Ellis MCB, Webb DA, Western NM, Tuck CR, Hayes AL, Miller PCH, 2000. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. *Crop Protection*, 19(1): 27–37.

Li J, Zhang JG, Wang W, Lei B, 2018. Decrement and synergistic effect of synergists in preventing cotton aphids with thiamethoxam. *Agrochemicals*, 57(12): 912–915. [李进, 张军高, 王伟, 雷斌, 2018. 不同增效剂对噻虫嗪防治棉蚜的减量增效作用. 农药, 57(12): 912–915.]

Li SK, Li BW, Zheng X, Ning ZX, Zhang YC, Wang S, He C, LU W, 2019. Synergistic effects of three synergists mixed with three nicotine insecticides on *Aphis gossypii*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 32–37. [李世奎, 李博文, 郑鑫, 宁忠雄, 章雅春, 王爽, 何闯, 路伟, 2019. 3 种增效剂与 3 种烟碱类杀虫剂

混配对棉蚜的增效作用. 新疆农业科学, 56(1): 32–37.]

Lu HL, Ou-yang GC, Tan BL, Hou BH, Meng X, Fang XD, 2018. Synergistic effect of mineral spray oil on inorganic copper fungicides to control *Elsinoe fawcettii* and *Panonychus citri*. *Agrochemicals*, 57(5): 383–386. [卢慧林, 欧阳革成, 谭炳林, 侯柏华, 孟翔, 方小端, 2018. 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. 农药, 57(5): 383–386.]

Lu M, Wang JX, Wang YP, Liu W, 2004. The effect of herbicide adjuvants on the physical characteristics and the bioactivity of sulcotrione. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(4): 78–82. [鲁梅, 王金信, 王云鹏, 刘伟, 2004. 除草剂助剂对药液物理性状及对磺草酮药效的影响. 农药学学报, 6(4): 78–82.]

Ma WW, Cao SZ, Liu FL, Liu XM, Zhang XH, 2011. Thought on the fieid spraying technology system innovation. *Journal of Shandong Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 42(2): 306–308. [马伟伟, 曹胜柱, 刘丰乐, 刘雪美, 张晓辉, 2011. 创新田间施药技术体系的思考. 山东农业大学学报(自然科学版), 42(2): 306–308.]

Wang YB, Sun HH, Su WC, Chen QB, Wu RH, Xu HL, Lu CT, Yang DS, 2016. Studied on control effect of cyanazine to several gramineous weed and it's adjuvants synergism. *Agrochemicals*, 55(3): 231–234. [王彦兵, 孙慧慧, 苏旺苍, 陈齐斌, 吴仁海, 徐洪乐, 鲁传涛, 杨东升, 2016. 氰草津对几种禾本科杂草防效及增效助剂研究. 农药, 55(3): 231–234.]

Zhang CH, Zhang ZJ, Liu N, Song CQ, 2012. Research progress of pesticide spray adjuvant and plant oil spray adjuvant. *Pesticide Science and Administration*, 33(11): 16–18. [张春华, 张宗俭, 刘宁, 孙才权, 2012. 农药喷雾助剂的作用及植物油类喷雾助剂的研究进展. 农药科学与管理, 33(11): 16–18.]

Zhang J, 2015. Research on mechanism of enhancing deposition and synergistic effect of the spray adjuvants on pesticide. Master dissertation. Lanzhou: Gansu Agricultural University. [张靖, 2015. 喷雾助剂提高农药对靶沉积性能与增效作用研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]

Zhang J, Lü HP, Cao LD, Liu YJ, Zhao P, Li FM, Huang QL, 2015. Synergism of six spray adjuvants on mesotrione in controlling *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus retroflexus*. *Chinese Journal of Pesticide Science*,17(3): 348–356. [张靖, 吕和平, 曹立冬, 刘亚静, 赵鹏, 李凤敏, 黄啟良, 2015. 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. 农药学学报, 17(3): 348–356.]

Zhang P, Jiang XY, Tan HL, Shang DL, Li XD, Zhang JW, 2018. Effects of four spray adjuvants on the rainfastness of azoxystrobin on maize leaf surfaces and their effect on maize safety. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 20(2): 239–248. [张萍, 姜兴印, 谭海丽, 尚佃龙, 李向东, 张吉旺, 2018. 四种喷雾助剂对嘧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. 农药学学报, 20(2): 239–248.]

Zhang ZY, Zhang L, Liu WG, Liu CY, Li GQ, 2017. Evaluation of two spray adjuvants on reducing dosage and increasing efficiency of insecticide for preventing and curing rice sheath blight. *Hubei Plant Protection*, (5): 20–21. [张占英, 张莉, 刘卫国, 刘翠云, 李国清, 2017. 两种喷雾助剂对防治水稻纹枯病药剂减量增效评价. 湖北植保, (5): 20–21.]

Zhou CH, Wu G, Feng HZ, Wang L, Wang Z, Gou CQ, 2018. Effects of five kinds of synergistic additives on field control of imidacridine and chlordimidine on *Aphis gossypii*. *Agrochemicals*, 57(8): 620–623. [周川浩, 武刚, 冯宏祖, 王兰, 王喆, 苟长青, 2018. 5 种喷雾助剂对吡虫啉和啶虫脒防治棉蚜的影响. 农药, 57(8): 620–623.]