植物保护学报 Journal of Plant Protection，2019，46(6)：1316−1323 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2019.2018201

添加助剂对植保无人飞机低容量喷雾在矮化密植苹果园中雾滴沉积分布及苹果黄蚜防治效果的影响

王 明[1] 陈奕璇[1] 苏小计[2] 岳虎锋[3] 闫晓静[1] 袁会珠[1*]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，农业农村部作物有害生物综合治理重点实验室，北京 100193；
2. 陕西省植物保护总站，西安 710000；3. 旬邑县农村经营管理站，陕西 旬邑 711300）

摘要：为明确助剂在农药减施增效中的作用，于室内利用自动界面张力仪、接触角仪、激光粒度仪、药液润湿性测试卡测定药液中添加助剂对溶液性质的影响，并结合田间试验探究药液中添加助剂对矮砧纺锤形栽培模式苹果园果树冠层喷雾雾滴沉积分布及苹果黄蚜*Aphis spiraecola*防治效果的影响。结果表明，植保无人飞机低容量喷雾常规用量毒死蜱乳油时，添加体积分数为0.5%的助剂后，溶液性质相比蒸馏水发生了显著变化，溶液的表面张力由71.2 mN/m下降到31.7 mN/m，下降了55.5%；喷雾20 s后在苹果叶片上的接触角减小到13.8°，比蒸馏水在苹果叶片上的接触角减少了74.3%；雾滴体积中径由蒸馏水的122.4 μm显著增加到142.2 μm；药液的铺展系数是蒸馏水的4.0倍。添加助剂后可以有效减少雾滴漂移，增加雾滴在苹果叶片上的铺展。田间使用植保无人飞机喷施40%毒死蜱乳油的沉积量均值为0.79 μg/cm^2，7 d后对苹果黄蚜的防治效果为72.9%；农药减施20%后的沉积量均值为0.70 μg/cm^2，7 d后对苹果黄蚜的防治效果为71.5%；而在这2个处理中添加0.5%助剂后农药沉积量均值分别增加至1.89 μg/cm^{2}和1.14 μg/cm^2，7 d后对苹果黄蚜的防治效果分别为83.8%和77.0%。表明添加助剂可显著增加农药在果树上的沉积量及对苹果黄蚜的防治效果；即使在农药减量20%应用中添加助剂后，药液在果树冠层的沉积量以及对苹果黄蚜的防治效果依然高于农药常规用量处理。

关键词：助剂；农药减施增效；植保无人飞机；雾滴沉积分布；苹果黄蚜；防治效果

Effects of adjuvants in low volume spraying by unmanned aerial vehicle on the deposition distribution of pesticide droplets and control efficiency against *Aphis spiraecola* in apple orchards of high-density dwarfing cultivation pattern

Wang Ming[1] Chen Yixuan[1] Su Xiaoji[2] Yue Hufeng[3] Yan Xiaojing[1] Yuan Huizhu[1*]

（1. Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture; Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Plant Protection Station of Shaanxi Province, Xi'an 710000, Shaanxi Province, China; 3. Rural Management Station of Xunyi City, Xunyi 711300, Shaanxi Province, China）

Abstract: To investigate the role of adjuvant in pesticide reduction and synergism, the surface tension meter, contact angle meter, laser particle analyzer and liquid wettability test card were used to evaluate their influences on the properties of solution by adding adjuvants in the laboratory. The effect of the droplets with adjuvant on the deposition and distribution in the canopy of apple trees in the low-anvil spindle-shaped cultivation model and its effect on the apple aphid *Aphis spiraecola* were explored. Com-

基金项目：国家重点研发计划(2016YFD0201305，2016YFD0200703)，中国农业科学院科技创新工程协同创新任务(CAAS-XTCX2016015)
* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：hzhyuan@ippcaas.cn
收稿日期：2018-12-10

pared with distilled water, the property of the chlorpyrifos emulsifiable concentrate (EC) solution prepared for low-volume spraying by unmanned aerial vehicle (UAV) changed significantly, and the surface tension of solution was converted from 71.2 mN/m to 31.7 mN/m, which was decreased by about 55.5%. The contact angle of the solution was also reduced by about 74.3% after spraying apple leaves for 20 s. In addition, the medium diameter of the droplet volume was significantly increased from 122.4 μm to 142.2 μm, and the spreading coefficient of solution was 4.0 times that of distilled water, which demonstrated that the solution for low-volume spraying by UAV with adjuvant could effectively reduce the drift and improve the spread property of fog droplets on apple leaves. In the field experiment, the average depositions of 40% chlorpyrifos EC and treatment with 20% reduced spraying by UAV were 0.79 μg/cm^2 and 0.70 μg/cm^2, respectively; their efficiencies against *A. spiraecola* were 72.9% and 71.5% after seven days, respectively. However, the average deposition and control effects increased to 1.89 μg/cm^2, 83.8% and 1.14 μg/cm^2, 77.0%, respectively, after 0.5% adjuvant was added in the above treatments. The results indicated that adding adjuvant could significantly increase the deposition of pesticides on apple trees and improve the efficiency against *A. spiraecola*. Moreover, when the pesticide dosage was reduced by 20% with 0.5% adjuvants added, the deposition and control efficiency were better than when common dosage was used without adjuvants.

Key words: adjuvant; pesticide reduction and synergism; plant-protection unmanned aerial vehicle; deposition distribution; *Aphis spiraecola*; control efficiency

苹果是我国重要的水果种类，栽培面积占水果种植总面积的18.4%，产量占全国果品总产量的25.5%（杨杰，2015）。作为全球最重要的苹果产区之一，我国2018年的苹果产量占到全球苹果产量的58.4%（张彪，2018）。因此苹果病虫害的防治显得尤为重要，尤其是苹果黄蚜*Aphis spiraecola*，该虫在我国苹果主产区1年发生10余代，每年5—6月份春梢抽发期是为害最严重的时期，苹果黄蚜以成蚜和若蚜群集在当年新抽枝条顶端和嫩叶上为害，严重影响新梢生长（焦浩等，2014）。在农药喷雾中，一定的雾滴覆盖密度就可以达到理想的防治效果（袁会珠和王国宾，2015），并不需要采用大容量淋洗式的喷雾方式。但果园害虫的防治一直以来都是以喷洒化学药剂为主，尤其是传统的大容量淋洗式喷雾方式，致使农药雾滴在果树冠层中的沉积不均匀，药液流失严重，不仅使果园土壤环境受到严重污染，而且使工作效率降低（袁会珠等，2010）。此外，施药时，施药人员身上的农药暴露量也很大，极易造成中毒事件的发生（Cao et al.，2017）。

随着航空植保科技的发展，尤其是以植保无人飞机为代表的低空低容量喷雾技术的迅速发展（袁会珠等，2018），带动了我国施药技术的快速发展，推动了我国农业现代化进程。如高圆圆（2013）研究了小型无人机低空喷雾后药剂在玉米田和小麦田的雾滴沉积分布及对亚洲玉米螟*Ostrinia furnacalis*和小麦吸浆虫*Sitodiplosis mosellana*的防治效果；薛新宇等（2013）分析了N-3型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟*Cnaphalocrocis medinalis*防治效果的影响；Qin et al.（2016）探讨了单旋翼电动植保无人飞机喷雾参数对水稻冠层雾滴沉积分布的影响，同时以担架式动力喷雾机作为对比分析了2种喷雾方式对稻飞虱的防治效果，结果表明低容量喷雾技术与大容量喷雾技术对稻飞虱的防治效果差异不显著，而且低容量喷雾防治害虫具有更长的持效期；何玲等（2017）探索了添加助剂及不同喷液量对植保无人飞机喷雾在水稻冠层中雾滴沉积分布的影响，发现施药量为13.5 L/hm^{2}且添加1.0%喷雾助剂时的农药利用率最高，但并没有对防治效果进行深入研究；王明等（2019）研究了植保无人飞机低空低容量喷雾后药剂在高山茶园的雾滴沉积分布及对茶小绿叶蝉*Empoasca flavescens*的防治效果，结果显示防治效果可达90%以上，且相比传统的大容量喷雾方式对茶小绿叶蝉的防治有着更长的持效期。

喷雾助剂是指在田间使用前添加在桶或喷雾器中的可改善药液在靶标植物叶片上的润湿、附着、展布与渗透等界面特性的一类助剂（Wang et al.，2002），包括植物油类、非离子表面活性剂类、矿物油类及混合类助剂，其中，油类助剂特别是植物油助剂不但具有表面活性剂的特性，而且由于其与靶标作物的亲和性，可有效促进药剂在植物上的渗透（张靖

等,2015)。本研究拟在矮化密植苹果园利用植保无人飞机低空低容量喷雾防治苹果黄蚜时添加助剂,通过测定添加助剂对溶液表面张力、接触角、雾滴体积中径和铺展系数等溶液性质的影响,分析植保无人飞机喷洒雾滴在矮化密植苹果园冠层的沉积密度、沉积量以及对苹果黄蚜防治效果的影响,明确助剂在果园农药减施增效中的作用,以期为果园中飞防农药减施增效提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试苹果园:本试验选择陕西省旬邑县太村镇旬邑海越农业有限公司自根砧矮化密植苹果园,防治对象为园中自然发生的苹果黄蚜,发生数量满足田间试验的要求。苹果树栽培模式为自根砧矮化密植,树龄3年,株高约3.5 m左右,株距1.2 m,垄宽3.5 m,品种为红富士,处于果实膨大期,剪取新鲜健康的苹果叶片带回实验室,备用。试验期间,果园中平均温度为25.5℃,平均相对湿度为62%,平均风速为1.61 m/s。

试剂和药剂:示踪剂为诱惑红85,浙江吉高德色素科技有限公司;助剂为甲基化植物油类助剂,河北明顺农业科技有限公司。40%毒死蜱(chlorpyrifos)乳油,陕西上格之路生物科学有限公司。

仪器:MRS-2400U2C扫描仪,上海中晶科技有限公司;FlexStation 3全波长扫描多功能读数仪,美谷分子仪器有限公司;OCA20 Data Physics视频光学接触角测量仪,北京奥德利诺仪器有限公司;DP-02激光粒度分析仪,珠海欧美克仪器有限公司;TeeJet 11001VS液力式喷头,美国喷雾系统公司;JYW-200A自动界面张力仪,承德精密仪器有限公司;PM6252A数字风速表,深圳市华谊智测科技股份有限公司;S520-TH温湿度记录仪,深圳市华图电气有限公司;Yaxin-1242叶面积仪,北京雅欣理仪科技有限公司;P20电动四旋翼植保无人飞机,广州极飞科技有限公司;永佳3WZ-500L自走风送式喷雾机,山东永佳动力股份有限公司;长7 cm×宽3 cm雾滴测试卡、药液润湿性测试卡,中国农业科学院植物保护研究所。

1.2 方法

1.2.1 添加助剂对药液物化参数影响的测定

田间植保无人飞机的喷液量为22.5 L/hm^2,常规用量喷施毒死蜱的浓度为200 g (a.i.)/hm^2,减量20%喷施浓度为160 g (a.i.)/hm^2,室内试验中两者的浓度分别换算为8.89 g (a.i.)/L和7.11 g (a.i.)/L。为测定减量和添加助剂对药液物化参数产生的影响,于室内设置5个处理,处理1为蒸馏水,处理2、3中毒死蜱常规用量浓度均为8.89 g (a.i.)/L,助剂体积分数分别为0、0.5%,处理4~5毒死蜱减量20%的浓度均为7.11 g (a.i.)/L,助剂体积分数分别为0、0.5%。使用JYW-200A自助界面张力仪测定上述处理药液及蒸馏水的表面张力。利用微量注射器分别吸取药液和蒸馏水,设置产生的液滴体积为4 μL,分别滴在健康苹果叶片上,采用OCA20 Data Physics视频光学接触角测量仪测定液滴在健康苹果叶片上的接触角。采用DP-02激光粒度分析仪测定药液和蒸馏水经液力式喷头TeeJet 11001VS喷雾后的雾滴体积中径,喷雾压力为0.3 MPa,试验时喷头位于距激光粒度仪发射端与接收端上方1 m的中心位置处。移液枪分别吸取20 μL药液和蒸馏水滴在药液润湿性测试卡上,待药液不再扩散读取其铺展系数。上述所有试验均设3次重复。

1.2.2 添加助剂对农药雾滴密度分布影响的测定

田间试验于2018年6月14日在上述矮化密植苹果园进行,共设6个处理,处理1~4均为植保无人飞机低空低量喷雾处理,植保无人飞机安装有4个离心式喷头,作业高度距离地面4.5 m,作业速度为3.0 m/s,喷液量为22.5 L/hm^2,处理1和2毒死蜱用量为200 g (a.i.)/hm^2,为常规用量;处理3和4毒死蜱用量为160 g (a.i.)/hm^2,农药施用量减少20%。处理1和3不添加助剂,处理2和4添加体积分数为0.5%的助剂进行喷雾;处理5为自走风送式喷雾机喷雾处理,喷液量为750 L/hm^2,毒死蜱用量为200 g (a.i.)/hm^2,作业速度为中二挡;处理6为对照处理,不施用任何农药。每个处理小区面积为666.7 m^2,处理之间以2行果树作为隔离行。在果园进行喷雾作业时,会在各处理小区苹果树冠层的上、中、下部形成不同的覆盖密度,因此在喷雾开始前,于每个处理小区内3株苹果树上布置雾滴测试纸卡,分别将纸卡用订书机订在苹果树冠层的上、中、下部叶片上(图1)。喷雾结束后,待纸卡上雾滴自然晾干,收取雾滴测试卡并装入5#自封袋,并做好相应标记,用Deposit scan软件(美国农业部)统计雾滴密度。

1.2.3 添加助剂对农药沉积量影响的测定

基于1.2.2方法,以诱惑红85作为示踪剂,喷雾前按照450 g/hm^{2}将其加入到处理1~5药液中进行喷雾,田间试验结束后,在布置的雾滴测试卡附近摘取5片苹果叶放入5#自封袋中,带回实验室进行药

液沉积分布的测定。测定时向自封袋中加入5 mL蒸馏水，振荡洗涤10 min，使诱惑红85充分溶解于水中，测定洗涤液中诱惑红85的质量浓度。用叶面积仪测量摘取的苹果叶片面积，两者相除得到示踪剂在叶片上的沉积量，根据示踪剂与农药的比例，计算出各处理农药在叶片上的沉积量。

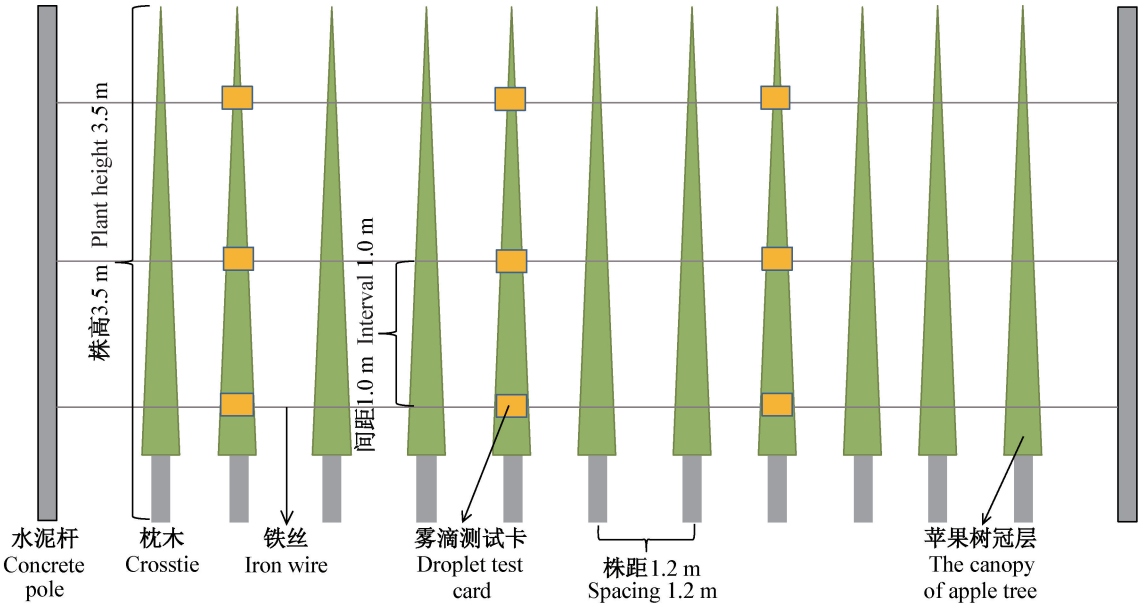


图1　矮化密植苹果园雾滴测试卡布置示意图

Fig. 1　Sketch map of the arrangement of droplet test cards in the apple orchard of high-density dwarfing cultivation pattern

1.2.4　*添加助剂对苹果黄蚜防治效果影响的测定*

在1.2.2中苹果园施药前调查苹果黄蚜虫口基数，并分别在各处理施药后的1、3、7 d调查3次虫口数量。采用平行跳跃法进行调查，每个处理小区随机调查5个点，每个点调查4棵苹果树，每棵苹果树调查其东、西、南、北、中5个方向嫩梢上的苹果黄蚜数量，计算虫口减退率和防治效果。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=(1−对照区施药前虫数×处理区施药前虫数/对照区施药后虫数×处理区施药前虫数)×100%。

1.3　数据分析

试验数据使用DPS 14.50软件进行统计分析，应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　添加助剂对溶液物化参数的影响

添加助剂可显著降低溶液的表面张力，蒸馏水的表面张力为71.2 mN/m，常规用量和减量20%的毒死蜱溶液表面张力分别为33.3 mN/m和33.5 mN/m，比蒸馏水的表面张力显著降低了52.2%和52.9%，当两者添加体积分数为0.5%的助剂后溶液表面张力分别降为31.7 mN/m和32.1 mN/m，比蒸馏水的表面张力显著降低了55.5%和54.9%。添加助剂可以显著降低药液在苹果叶片上的接触角，蒸馏水在苹果叶片上的接触角为53.7°，常规用量和减量20%的毒死蜱溶液在苹果叶片上的接触角分别为25.5°和30.9°，比蒸馏水在苹果叶片上的接触角显著降低了52.5%和42.4%，当两者添加体积分数为0.5%的助剂后接触角分别降为13.8°和20.8°，比蒸馏水在苹果叶片上的接触角显著降低了74.3%和61.3%。TeeJet 11001VS喷头喷蒸馏水时的雾滴体积中径为122.4 μm，喷雾常规用量和减量20%的毒死蜱溶液时雾滴体积中径分别为142.1 μm和140.8 μm，较蒸馏水雾滴体积中径显著增加了16.1%和15.0%，当两者添加体积分数为0.5%的助剂后雾滴体积中径分别为142.2 μm和141.9 μm，较蒸馏水雾滴体积中径显著增加了16.2%和15.9%(表1)。添加助剂可以显著增加药液的铺展系数，蒸馏水的铺展系数为1.0，常规用量和减量20%的毒死蜱溶液铺展系数分别为4.7和5.3，是蒸馏水铺展系数的4.7倍和5.3倍，当两者添加体积分数为0.5%的助剂后溶液铺展系数分别为4.0和5.0，是蒸馏水铺展系数的4.0倍和5.0倍。表明添加助剂后可以使农药雾滴更好地在苹果叶片上润湿铺展，减少雾滴的蒸发与飘移，从而达到减施增效的目的。

2.2　添加助剂对农药雾滴沉积密度的影响

植保无人飞机在果园的喷液量均为22.5 L/hm^2，在不添加助剂的情况下，以常规用量喷施40%毒死

蜱乳油后，雾滴在果树冠层上、中、下层的沉积密度为15.1~24.5个/cm²，均值为20.7个/cm²；以减量20%喷施后，雾滴在果树冠层上、中、下层的沉积密度为26.8~29.6个/cm²，均值为28.0个/cm²；分别添加体积分数为0.5%的助剂后，以常规用量和减量20%喷施40%毒死蜱乳油后，雾滴在果树冠层上、中、下层的沉积密度分别为14.1~24.2个/cm²和17.2~30.1个/cm²，均值分别为18.2个/cm²和24.2个/cm²；无论是常规用量还是减量20%，添加助剂对药液雾滴沉积密度无显著影响（图2）。表明影响雾滴沉积密度的主要因素是喷液量，喷液量相同的情况下，助剂对是否减量喷雾的雾滴沉积密度无显著影响。

表1 添加喷雾助剂对毒死蜱溶液表面张力、接触角、雾滴体积中径和铺展系数的影响

Table 1 The effects of adding adjuvants in chlorpyrifos solution on surface tension, contract angle, droplet diameter and spreading coefficient

药剂浓度（g (a.i.)/L） Concentration of pesticide	助剂添加体积分数（%） Concentration of adjuvant	表面张力（mN/m） Surface tension	接触角（°） Contract angle	雾滴体积中径（μm） Volume median diameter	铺展系数 Spreading coefficient
0.00	0.0	71.2±0.4 a	53.7±0.7 a	122.4±0.9 b	1.0±0.0 c
8.89	0.0	33.3±0.0 c	25.5±2.5 bc	142.1±1.2 a	4.7±0.6 ab
8.89	0.5	31.7±0.0 e	13.8±2.0 d	142.2±1.3 a	4.0±1.0 b
7.11	0.0	33.5±0.1 b	30.9±2.3 b	140.8±0.6 a	5.3±0.6 a
7.11	0.5	32.1±0.0 d	20.8±6.3 c	141.9±1.3 a	5.0±0.0 ab

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.05水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at P<0.05 level by Duncan's new multiple range test.

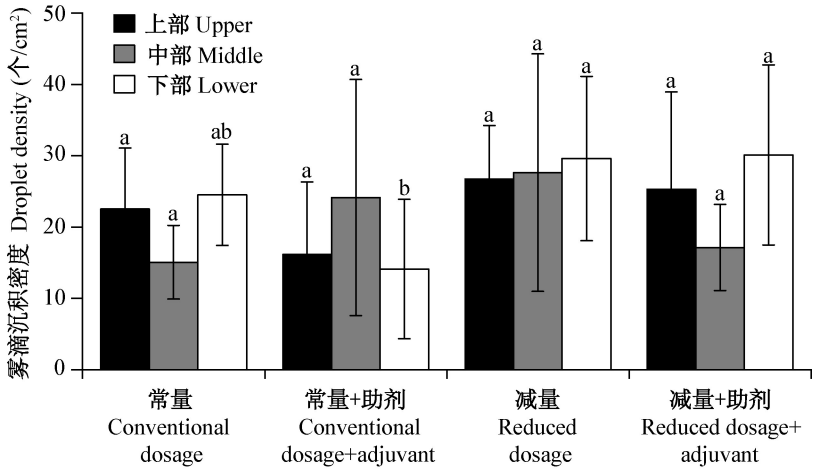


图2 添加助剂对植保无人飞机喷施毒死蜱乳油后在苹果树冠层不同位置雾滴沉积密度分布的影响

Fig. 2 The effect of adding adjuvants in chlorpyrifos solution sprayed by unmanned aerial vehicle on the distribution of droplet density at different positions of the apple tree canopy

图中数据为平均数±标准差。同色柱上不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.05水平差异显著。Data are mean±SD. Different lowercase letters on the same color bars indicate significant difference at P<0.05 level by Duncan's new multiple range test.

2.3 添加助剂对农药沉积量分布的影响

植保无人飞机以常规用量喷施40%毒死蜱乳油时的沉积量为0.61~0.96 μg/cm²，均值为0.79 μg/cm²；添加体积分数为0.5%的助剂时农药沉积量在1.65~2.07 μg/cm²之间，均值为1.89 μg/cm²，两者之间差异显著，表明添加助剂可显著增加农药在果树冠层上的沉积量（图3）。在农药减量20%的情况下，植保无人飞机喷施40%毒死蜱乳油时的农药沉积量在0.58~0.86 μg/cm²之间，均值为0.70 μg/cm²；添加助剂后的农药沉积量在0.90~1.28 μg/cm²之间，均值为1.14 μg/cm²；表明农药减量20%时其在果树冠层上的沉积量有所减少，而添加助剂后的农药沉积量要高于常规用量喷施处理，尽管两者之间差异并不显著，但仍说明添加飞防助剂可以弥补农药减量造成

的影响。传统的自走风送式喷雾机喷雾作业在果树冠层上的农药沉积量在0.56~0.99 μg/cm²之间，均值为0.78 μg/cm²，与植保无人飞机低空低容量喷雾不添加助剂得到的农药沉积量基本持平。

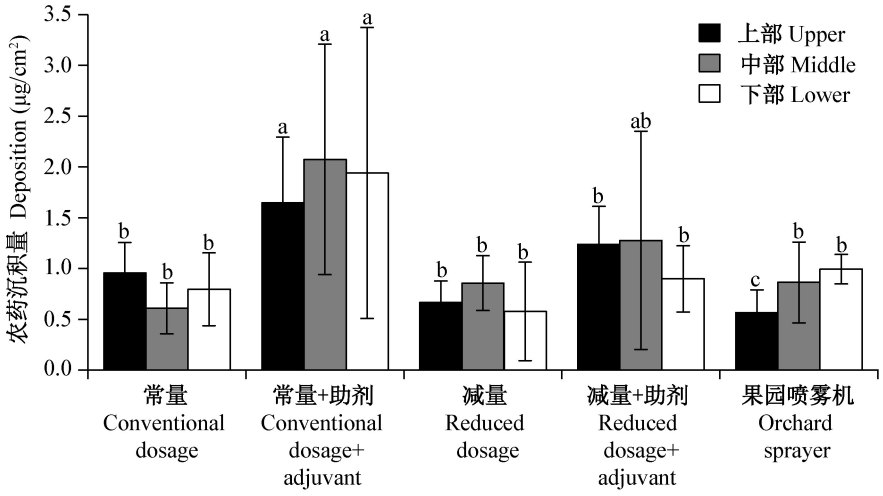


图3 添加助剂对植保无人飞机喷施毒死蜱乳油后在苹果树冠层不同位置沉积量分布的影响

Fig. 3 The effects of adding adjuvants in chlorpyrifos solution sprayed by unmanned aerial vehicle on the distribution of deposition at different positions of the apple tree canopy

图中数据为平均数±标准差。同色柱上不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.05水平差异显著。Data are mean±SD. Different lowercase letters on the bars of same color indicate significant difference at P<0.05 level by Duncan's new multiple range test.

2.4 添加助剂对药剂防治苹果黄蚜效果的影响

植保无人飞机喷施常规用量及减量20%的毒死蜱后1 d，苹果黄蚜的虫口减退率分别为74.0%和71.4%，防治效果分别为74.1%和71.5%，而这2个处理添加体积分数为0.5%的助剂后，苹果黄蚜的虫口减退率分别为83.4%和74.8%，防治效果分别为83.5%和74.9%；自走风送式喷雾机喷雾处理的虫口减退率为91.9%，防治效果为94.7%。植保无人飞机喷施常规用量及减量20%的毒死蜱后3 d，苹果黄蚜的虫口减退率分别为77.4%和75.4%，防治效果分别为78.0%和76.1%，而这2个处理添加体积分数为0.5%的助剂后，苹果黄蚜的虫口减退率分别为85.4%和79.7%，防治效果分别为85.8%和80.3%；自走风送式喷雾机喷雾处理的虫口减退率为94.7%，防治效果为93.7%。植保无人飞机喷施常规用量及减量20%的毒死蜱后7 d，苹果黄蚜的虫口减退率分别为70.3%和68.9%，防治效果分别为72.9%和71.5%，而这2个处理添加体积分数为0.5%的助剂后，苹果黄蚜的虫口减退率分别为82.2%和74.9%，防治效果分别为83.8%和77.0%；自走风送式喷雾机喷雾处理的虫口减退率为93.1%，防治效果为92.8%（表2）。表明在添加助剂后对苹果黄蚜的防治效果有显著提高，虽在农药减量20%喷施后的防治效果有所降低，但在农药减量20%的情况下添加飞防助剂后的防治效果要高于常规用量不添加飞防助剂的防治效果，由此说明添加飞防助剂可减少20%的农药使用量。此外，自走风送式喷雾机大容量喷雾处理的虫口减退率在90.5%~92.1%之间，防治效果达到了91.8%~93.2%。可以看出，植保无人飞机喷雾对苹果黄蚜的防治效果与自走风送式喷雾机喷雾的防治效果有一定的差距，但也达到了83.4%。

3 讨论

本研究的室内试验结果表明，在药液中添加助剂后，相较于蒸馏水，药液的表面张力降低了52.2%~55.5%，在苹果叶片上的接触角降低了42.4%~74.3%，雾滴的体积中径增大了15.0%~16.2%，此外，药液的铺展系数是蒸馏水的4.0~5.3倍。由此可知，在药液中添加助剂可以显著改变其物化性质，可以使药滴在叶片上更好地润湿并迅速铺展开，而且在药液中添加助剂还可以增大雾滴的体积中径，减少小雾滴的产生，从而减小植保无人飞机低容量喷雾过程中的雾滴飘移。田间试验结果表明，植保无人飞机低容量喷雾的喷液量为22.5 L/hm²，其在矮化密植苹果园冠层的上、中、下层的雾滴沉积密度在14.1~30.1个/cm²之间，基本达到了植保无人飞机有效喷幅要求的雾滴沉积密度（NY/T 3213—2018）。本试验在分析农药沉积量时以自走风送式喷雾机作对

比，虽然自走风送式喷雾机喷雾作业在果树冠层上的农药沉积量均值为0.78 μg/cm^2，与植保无人飞机低容量喷雾不添加飞防助剂时的农药沉积量基本持平，但因其为大容量喷雾，喷液量为750 L/hm^2，而作物叶片有一定的持液量（袁会珠等，2000），喷液量过大，药液在苹果叶片上易发生液滴聚并，引起药液流失，不仅造成了农药的浪费，还污染了土壤。

表2 毒死蜱药液中添加助剂对苹果黄蚜防治效果的影响

Table 2 The effects of adding adjuvants in chlorpyrifos solution on the control efficiency against *Aphis spiraecola* %

植保机械 Plant protection machinery	药剂浓度（g (a.i.)/hm^2） Concentration of pesticide	助剂浓度（%） Concentration of adjuvant	药后1 d 1 day after treatment		药后3 d 3 days after treatment		药后7 d 7 days after treatment	
			虫口减退率 Population decline rate	防治效果 Control efficacy	虫口减退率 Population decline rate	防治效果 Control efficacy	虫口减退率 Population decline rate	防治效果 Control efficacy
植保无人飞机 Unmanned aerial vehicle	200	0.0	74.0±3.9 AB	74.1±4.0 AB	77.4±1.6 B	78.0±1.4 BC	70.3±4.3 B	72.9±3.0 BC
	200	0.5	83.4±11.0 AB	83.5±11.0 AB	85.4±4.9 AB	85.8±4.7 AB	82.2±2.3 AB	83.8±5.3 AB
	160	0.0	71.4±4.1 B	71.5±4.1 B	75.4±2.8 B	76.1±2.8 C	68.9±3.3 B	71.5±2.3 C
	160	0.5	74.8±8.4 AB	74.9±8.4 AB	79.7±5.6 B	80.3±4.8 BC	74.9±9.2 B	77.0±7.0 BC
自走风送式喷雾机 Self-propelled air assisted sprayer	200	0.0	91.9±2.1 A	94.7±2.2 A	94.7±0.7 A	93.7±0.7 A	93.1±1.0 A	92.8±1.0 A

表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在P<0.01水平差异显著。Data are mean± SD. Different letters in the same column indicate significant difference at P<0.01 level by Duncan's new multiple range test.

高圆圆（2013）研究了小型无人机低容量喷雾在小麦田雾滴沉积分布及对小麦蚜虫的防治效果，表明小型无人机低容量喷雾7 d后对小麦蚜虫的防治效果达到了86.7%，低于喷杆喷雾机喷雾7 d后的防治效果97.8%。本研究结果也表明，在添加飞防助剂的情况下，植保无人飞机低容量喷雾7 d后对苹果黄蚜的防治效果达到了83.8%，低于传统的风送自走式喷雾机大容量喷雾7 d后对苹果黄蚜的防治效果92.8%。虽然植保无人飞机低容量喷雾的沉积量高于风送自走式喷雾机大容量喷雾的沉积量，但后者对苹果黄蚜的防治效果要好于前者。造成这种现象的原因可能是自走风送式喷雾机喷雾是发散型的，且喷雾压力较大，药液可以直接喷洒到苹果叶片背面，故其农药的沉积量虽然较植保无人飞机喷雾的低，但其防治效果却要高于后者，但还需进一步深入研究验证。

植保无人飞机低空低容量喷雾技术作为新兴的施药技术，具有作业效率高、节水省药、减少施药人员身体上农药的暴露量以及可以及时应对病虫害暴发等传统喷雾技术无法比拟的优势，尤其是在冠层较高大的果树病虫害防治上（李鸿筠等，2015）。陈立涛等（2017）进行了大容量喷雾甲维盐药液时添加1%甲基化植物油助剂防治花生棉铃虫*Helicoverpa armigera*的农药减量增效试验，结果表明添加1%甲基化植物油助剂可以减少10%~20%的农药使用量。本研究结果表明在植保无人飞机低容量喷雾的药液中加入助剂可有效减少雾滴的漂移，增加雾滴在作物叶片上的润湿铺展及药液在作物叶片上的穿透性，提高雾滴在作物表面上的沉积，因此农药减量施用20%的情况下，依然有较高的农药沉积量，对苹果黄蚜也有着较为理想的防治效果。

参 考 文 献（References）

Cao LD, Cao C, Wang Y, Li XH, Zhou ZL, Li FM, Yan XJ, Huang QL. 2017. Visual determination of potential dermal and inhalation exposure using allura red as an environmentally friendly pesticide surrogate. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5(5): 3882−3889

Chen LT, Gao J, Ma JY, Zhang DP, Hao YT. 2017. Effect of methylated vegetable oil adjuvants on pesticide reduction and synergistic control of peanut cotton bollworm. Hebei Agriculture, (5): 40−42 (in Chinese) [陈立涛, 高军, 马建英, 张大鹏, 郝延堂. 2017. 甲基化植物油助剂在花生棉铃虫农药减量增效防治中的效果. 河北农业, (5): 40−42]

Gao YY. 2013. Study on distribution of pesticide droplets in gramineous crop canopy and control effect sprayed by unmanned aerial vehicle (UAV). Master Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University (in Chinese) [高圆圆. 2013. 无人直升机(UAV)低空低容量喷洒农药雾滴在禾本科作物冠层的沉积分布及防治效果研究. 哈尔滨: 东北农业大学]

He L, Wang GB, Hu T, Meng YH, Yan XJ, Yuan HZ. 2017. Influences

of spray adjuvants and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle (UAV) spraying on rice. Journal of Plant Protection, 44(6): 1046−1052 (in Chinese) [何玲, 王国宾, 胡韬, 蒙艳华, 闫晓静, 袁会珠. 2017. 喷雾助剂助剂及施液量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响. 植物保护学报, 44(6): 1046−1052]

Jiao H, Hou JH, Hou HL. 2014. Causes and control techniques of apple locusts in Shaanxi in 2013. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 60(4): 125−128 (in Chinese) [焦浩, 侯建华, 侯红利. 2014. 2013年陕西苹果蚜虫大发生原因及防治技术. 陕西农业科学, 60(4): 125−128]

Li HJ, Liu HQ, Ran C, Wang LY, Yao TS, Hu JH. 2015. Studies on the control of 4 type of sprayer against citrus insect pests. Journal of Agricultural Mechanization Research, (4): 150−154 (in Chinese) [李鸿筠, 刘浩强, 冉春, 王联英, 姚廷山, 胡军华. 2015. 不同喷雾器械对柑橘害虫的防治研究. 农机化研究, (4): 150−154]

Qin WC, Qiu BJ, Xue XY, Chen C, Xu ZF, Zhou QQ. 2016. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. Crop Protection, 85: 79−88

Wang M, Wang X, He L, Shi JM, Fan JS, Zhong L, Yuan HZ. 2019. Deposition distribution of pesticide droplets over the tea canopy and control efficiency against *Empoasca flavescens* sprayed by unmanned aerial vehicle (UAV). Plant Protection, 45(1): 62−68, 87 (in Chinese) [王明, 王希, 何玲, 史建苗, 范劲松, 钟玲, 袁会珠. 2019. 植保无人机低空低容量喷雾在茶园的雾滴沉积分布及对茶小绿叶蝉的防治效果. 植物保护, 45(1): 62−68, 87]

Wang Y, Zhang LT, Zheng FN, Chen FL, Liang WP. 2002. The effect of adjuvants on penetration of beta-cypermethrin through the epidermis of cabbage leaf. Agricultural Sciences in China, 1(3): 313−318

Xue XY, Qin WC, Sun Z, Zhang SC, Zhou LX, Wu P. 2013. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*. Journal of Plant Protection, 40(3): 273−278 (in Chinese) [薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 张宋超, 周立新, 吴萍. 2013. N-3型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响. 植物保护学报, 40(3): 273−278]

Yang J. 2015. Pattern and suggestions of the development of apple industry in China. China Fruit Vegetable, 35(6): 1−6 (in Chinese) [杨杰. 2015. 我国苹果产业的格局和发展建议. 中国果菜, 35(6): 1−6]

Yuan HZ, Qi SH, Yang DB. 2000. Study on the point of run-off and the maximum retention of spray liquid on crop leaves. Chinese Journal of Pesticide Science, 2(4): 66−71 (in Chinese) [袁会珠, 齐淑华, 杨代斌. 2000. 药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究. 农药学学报, 2(4): 66−71]

Yuan HZ, Wang GB. 2015. Effect of droplets size and deposition density on field efficacy of pesticides. Plant Protection, 41(6): 9−16 (in Chinese) [袁会珠, 王国宾. 2015. 雾滴大小和覆盖密度与农药防治效果的关系. 植物保护, 41(6): 9−16]

Yuan HZ, Wang ZQ, Sun RH, Li SF, Dong Z, Sun LP. 2010. Influences of nozzle type and spray adjuvant on the distribution of spray droplets with stretcher mounted sprayer in peach orchards. Plant Protection, 36(1): 106−109 (in Chinese) [袁会珠, 王忠群, 孙瑞红, 李世访, 董崭, 孙丽鹏. 2010. 喷洒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. 植物保护, 36(1): 106−109]

Yuan HZ, Xue XY, Yan XJ, Qin WC, Kong X, Zhou YY, Wang M, Gao SC. 2018. Applications and prospects in the unmanned aerial system for low-altitude and low-volume spray in crop protection. Plant Protection, 44(5): 152−158, 180 (in Chinese) [袁会珠, 薛新宇, 闫晓静, 秦维彩, 孔肖, 周洋洋, 王明, 高赛超. 2018. 植保无人飞机低空低容量喷雾技术应用与展望. 植物保护, 44(5): 152−158, 180]

Zhang B. 2018. Analysis of the output, processing and trade status of apple industry in the past 7 years in China. China Fruits, (4): 106−108 (in Chinese) [张彪. 2018. 中国苹果产业近7年产量、加工和贸易状况分析. 中国果树, (4): 106−108]

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 (in Chinese) [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]

（责任编辑：李美娟）