

文章编号: 1674-7054(2019)03-0249-09

川楝素乳油在3种作物上的最佳喷雾条件

周一万¹, 吴丽媛¹, 张兴^{1,2}, 冯俊涛^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 无公害农药研究服务中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 陕西省生物农药工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为明确2%川楝素乳油在作物叶片上沉积量与喷雾条件的关系, 笔者以小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino)、黄瓜(*Cucumis sativus* L.)和甘蓝(*Brassica oleracea* L.)为植物材料, 2%川楝素乳油为供试药剂, 采用单因素试验法和中心组合设计试验法, 研究了雾滴大小、喷液量、药剂稀释倍数和喷头高度对2%川楝素乳油在3种作物上沉积量的影响。结果表明, 在黄瓜和小白菜上喷施时, 2%川楝素乳油的最佳喷雾条件为: 雾滴 VMD 215.3 μm , 喷药量 406 $\text{L} \cdot \text{hm}^{-2}$, 稀释倍数为 600, 喷头高度为 50 cm; 在甘蓝上喷施时, 2%川楝素乳油的最佳喷雾条件为: 雾滴 VMD 151.7 μm , 喷药量 694 $\text{L} \cdot \text{hm}^{-2}$, 稀释倍数为 600, 喷头高度为 70 cm。

关键词: 川楝素乳油; 沉积量; 喷雾条件

中图分类号: S 482.1

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2019.03.008

为保障我国食品安全, 降低农药对环境的污染, 保护我国生态环境, 近年来, 我国大力推进实施农药减量增效战略。在提高施药过程中, 药剂在靶标上的原始沉积量和减少药剂流失是保障农药减量增效战略顺利实施的重要途径之一。植物源农药是农药的重要组成部分, 也是降低农药残留和环境污染, 保障食品安全, 保护生态环境的重要手段之一。提高植物源农药在施药过程中, 在作物表面的沉积量, 减少流失, 可以有效地提高其有效利用率, 提高防治效果, 降低用药成本。施药过程中, 农药在植物表面的沉积受施药器械^[1-5]、作物叶片表面特性^[6-10]、药剂特点^[11-15]、喷雾参数^[16-18]及环境条件等多种因素影响, 在确定了药剂和施药器械的前提下, 喷雾参数和作物叶片表面特性就成为了药剂在作物表面的沉积量的决定性影响因素。川楝素(Toosendanin)是从楝科植物川楝(*Melia toosendan* Sieb. et zucc.)和苦楝(*Melia azedarach* L.)树皮及果实中提取出来的四环三萜类化合物, 具有广泛的药理作用和杀虫活性^[19-23], 对昆虫天敌等非靶标生物及环境较为安全^[24-25], 是一种极具开发和应用前景的植物源农药。2%川楝素乳对菜青虫、蚜虫等害虫具有较好防治效果^[26-27], 为提高其田间药剂利用率, 减少药液流失, 笔者开展了施药条件对川楝素在3种作物叶片上沉积量影响的研究, 旨在为2%川楝素乳油的高效使用提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 药剂及供试植物 供试药剂: 2%川楝素乳油(西北农林科技大学无公害农药研究服务中心研制)。供试作物: 甘蓝(百甘 8A-5)、黄瓜(前锋)、小白菜(绿冠), 均来自永清县丰瑞果蔬农民专业合作社。当供试植株长至5~6叶时, 将其移栽在直径15 cm的花盆内, 栽种在温室里, 当植株长到7~8叶时, 进行试验。主要试剂: 柠檬色(69%柠檬黄, 天津多福源实业有限公司)。

收稿日期: 2019-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471802)

作者简介: 周一万(1973-), 男, 博士, 助理研究员。研究方向: 农药化学与制剂学。E-mail: yiwang1021@163.com

通信作者: 冯俊涛(1967-), 男, 博士, 教授。研究方向: 农药化学。E-mail: jtfeng@126.com

1.2 仪器 喷雾天车(3WD-8,德国温特施特公司),选用 ST110-03,ST110-04,ST110-05,ST110-06 4 种扇形雾喷头(德国 Lechler 公司生产);紫外可见分光光度计(日立 3310 型);电子天平(FA1004N)。

1.3 雾滴粒径大小对川楝素乳油在 3 种作物上沉积量的影响 将喷雾天车的喷头高度定位距离作物表面 60 cm,固定喷头压力为 0.2 MPa,实测当时风速风向(室内条件)及温湿度(温度 28 ℃,湿度 85%)。将 2% 川楝素乳油用 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬黄水溶液稀释 800 倍,分别用 ST110-03 (VMD151.7 μm),ST110-04 (VMD162.1 μm),ST110-05 (VMD180 μm),ST110-06 (VMD215.3 μm) 喷施在供试小白菜、甘蓝和黄瓜 3 种植物上,每个处理重复 3 次,每个重复处理 4 株供试植物,试验结果采用 LSD 法进行差异显著性比较。

1.4 喷液量、稀释倍数、碰头高度对川楝素在作物叶片上沉积量的影响 选取喷液量、稀释倍数和喷头高度为试验可变因素,采用中心组合试验设计,开展了上述因素对 2% 川楝素乳油在小白菜、甘蓝和黄瓜 3 种植物叶片上的沉积量影响研究。试验的因素、水平设计见表 1。利用 Design-Expert8.0.6 软件进行中心组合设计(central composite design,CCD),以喷液量、稀释倍数和喷头高度为变量,共生成 20 个试验处理,每个处理重复 3 次,具体试验处理组合见表 2。用 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬黄水溶液将 2% 川楝素乳油稀释至表 1 所需浓度,在室内条件(28 ℃,湿度 85%),选用 ST110-03 (VMD151.7 μm) 喷头固定喷头压力为 0.2 MPa 条件下,对小白菜、甘蓝和黄瓜 3 种植物进行喷雾,同种植物每重复 4 株,每个处理重复 3 次。叶片表面药液自然风干 2 h 后,采样测定供试植物叶片表面川楝素沉积量。试验数据采用标准多项式回归法进行二次回归拟合以后,得到平方项和交互项的二次方程,分析各因素的主效应和负效应,进一步找到最适因子的水平,最后在水平范围内求得响应值的最佳值。

表 1 响应面分析的水平与因素

Tab. 1 The factors and levels of the response surface analysis

因素 factor	自变量水平变化 levels of the independent variables						
	变化间距 Interval of the setting		- 1.68	- 1	0	1	1.68
喷液量/(L · hm ⁻²) (A) spray volume/(L · hm ⁻²) (A)	a	72	213	262	334	406	455
药液稀释倍数(B) dilution ratio(B)	b	200	464	600	800	1000	1136
喷头高度 /cm(C) sprinkler head height/cm(C)	c	10	43	50	60	70	77

注:各因素浓度与对应变量的编码转化公式: $a = (A - 334) / 72$; $b = (B - 800) / 200$; $c = (C - 60) / 10$

Note: Transformation formulation of various factors against corresponding variables: $a = (A - 334) / 72$; $b = (B - 800) / 200$; $c = (C - 60) / 10$

表 2 中心组合试验设计

Tab. 2 The central composite design of the experiment

试验处理数 Treatment number	喷液量/($\text{L} \cdot \text{hm}^{-2}$) Spray volume	药液稀释倍数 Dilution ratio	喷头高度/cm Sprinkler head height
1	334.00	464.00	60.00
2	262.00	600.00	50.00
3	406.00	600.00	50.00
4	262.00	600.00	70.00
5	406.00	600.00	70.00
6	334.00	800.00	43.00
7	213.00	800.00	60.00
8	334.00	800.00	60.00

续表 2 Continued Tab.2			
试验处理数 Treatment number	喷液量/(L·hm ⁻²) Spray volume	药液稀释倍数 Dilution ratio	喷头高度/cm Sprinkler head height
9	334.00	800.00	60.00
10	334.00	800.00	60.00
11	455.00	800.00	60.00
12	334.00	800.00	77.00
13	262.00	1000.00	50.00
14	406.00	1000.00	50.00
15	262.00	1000.00	70.00
16	407.00	1000.00	70.00
17	334.00	1136.00	60.00
18	334.00	800.00	60.00
19	334.00	800.00	60.00
20	334.00	800.00	60.00

1.5 植物表面川楝素沉积量测定方法 在各处理叶片表面药液自然风干 2 h 以后,从每株植物上采取面积最大的 2 片叶,平展用叶面积测定仪测定叶片面积后装入同一自封袋(12 cm×18 cm) 中,接着加入 10 mL 超纯水,将叶片表面的柠檬黄全部洗入袋中,取 3 mL 洗脱液用紫外可见分光光度计在 426 nm 波长下测定柠檬黄的浓度,用下式计算植物叶片单位面积上川楝素的沉积量(μg·cm⁻²) 。

叶片沉积量 = $\frac{\text{叶片洗涤液中柠檬黄浓度} \times \text{体积}}{\text{叶片面积}}$

2 结果与分析

2.1 雾滴大小对川楝素乳油在 3 种作物上沉积量的影响 采用 ST110-03(151.7 μm) 、ST110-04(162.1 μm) ,ST110-05(180 μm) 和 ST110-06(215.3 μm) 4 种扇形喷头,将 2% 川楝素乳油按要求喷施处理在小白菜、甘蓝和黄瓜 3 种作物上,药液自然晾干后采集叶片测定川楝素在作物上的沉积量。各处理川楝素在植物叶片上沉积量测定结果见表 3。

表 3 雾滴大小对 2% 川楝素乳油在小白菜、黄瓜和甘蓝叶面原始沉积量的影响

Tab.3 The effect of droplet size on the deposition of 2% toosendanin EC on Pakchoi, cucumber and cabbage leaves			
喷头型号(VMD) Nozzle type(VMD)	小白菜上川楝素 沉积量/(μg·cm ⁻²) Toosendanin deposition on pakchoi leaves	黄瓜上川楝素 沉积量/(μg·cm ⁻²) Toosendanin deposition on cucumber leaves	甘蓝上川楝素 沉积量/(μg·cm ⁻²) Toosendanin deposition on cabbage leaves
ST110-03(151.7 μm)	0.221 7 a	0.202 5 a	0.133 3 a
ST110-04(162.1 μm)	0.260 0 a	0.202 5 a	0.109 2 b
ST110-05(180 μm)	0.276 7 a	0.258 3 a	0.080 0 c
ST110-06(215.3 μm)	0.252 5 a	0.270 0 a	0.042 5 d

注: 表中数据为 3 次重复平均值,同列数据后标不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著(LSD 法)
Note: all data in table are the average of 3 replicates, different lowercase in the same column mean significant difference at $P < 0.05$ level by LSD test

由表 3 可知,雾滴粒径大小对 2% 川楝素乳油在 3 种供试作物上的沉积均有一定的影响,喷雾靶标不同,雾滴大小对川楝素乳油在靶标叶片上沉积量的影响不同。在供试粒径范围内,雾滴粒径大小对于川楝素乳油在小白菜和黄瓜叶片上的沉积量没有显著影响;而当靶标植物为甘蓝时,单位叶面积的川楝素沉积量随着粒径的增大显著降低。

2.2 喷液量、稀释倍数和喷头高度对 2% 川楝素乳油在小白菜、甘蓝和黄瓜叶面上的沉积量的影响
2.2.1 喷液量、稀释倍数和喷头高度对 2% 川楝素乳油在小白菜叶面上的沉积量的影响 选取不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度为试验因素,按照中心组合试验设计的方法确定试验方案,具体的 Central

Composite Design 试验方案以及响应值沉积量(R1) 见表4。根据表4 中的试验结果,借助 design expert 8.0.6 软件进行模拟,得到计算川楝素乳油在小白菜叶片上单位面积沉积量的回归方程为:

$$Y = 2.87 + 0.24a - 0.80b - 0.33c ,$$

式中: Y 表示单位沉积量, a , b , c 表示不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度的值。

表4 喷雾条件对川楝素在小白菜上沉积量影响中心组合试验设计及结果

Tab.4 The central composite design and results of the effect of spray condition on toosendanin deposition on Pakchoi leaves

	A	B	C	R1/($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)
1	0	-1.68	0	0.418
2	-1	-1	-1	0.599
3	1	-1	-1	0.499
4	-1	-1	1	0.333
5	1	-1	1	0.376
6	0	0	-1.68	0.184
7	-1.68	0	0	0.201
8	0	0	0	0.222
9	0	0	0	0.222
10	0	0	0	0.222
11	1.68	0	0	0.331
12	0	0	1.68	0.199
13	-1	1	-1	0.180
14	1	1	-1	0.390
15	-1	1	1	0.262
16	1	1	1	0.220
17	0	1.68	0	0.216
18	0	0	0	0.222
19	0	0	0	0.222
20	0	0	0	0.222

喷雾条件对2%川楝素乳油在小白菜叶片上沉积量影响中心组合设计试验预测模型的方差分析结果见表5。该模型达到显著的水平($P < 0.05$),显示该拟合预测模型方程在 $\alpha = 0.05$ 概率水平上回归显著,方程为一次方程,各因素间无交互作用。

表5 川楝素在小白菜上沉积量预测模型的 ANOVA 分析结果

Tab.5 ANOVA results of the Deposition of toosendanin on Pakchoi leaves

来源 Source of variations	离差平方和 Sum of squares	自由度 DF	均方 Mean squares	F 值 F-value	P 值 P-value
模型 model	11.07	3	3.69	4.08	0.024 9
A-喷液量 A-volume	0.80	1	0.80	0.89	0.360 5
B-药液稀释倍数 B-dilution ratio	8.78	1	8.78	9.72	0.006 6
C-喷头高度 C-sprinkler height	1.49	1	1.49	1.65	0.217 1
残差 residual	14.46	16	0.90		
失拟项 Lack of fit	14.46	11	1.31		
纯试验误差 Pure error	0.000	5	0		
总变异 total	25.52	19			

结合表 5 与回归方程可以看出,因素之间交互作用可以忽略不计,从单个因素对响应值的影响来看,B-药液稀释倍数对沉积量的影响最为明显,为负效应; C-喷头高度对沉积量较小,也为负效应,A-喷液量对沉积量的影响最小,为正效应。方程为一次方程,在一定范围内有最大值。

软件计算结果表明,当喷药量为 $406\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$,稀释倍数为 600,喷头高度为 50 cm 时,2% 川楝素乳油在小白菜叶片上的沉积量最大,此时,小白菜叶片上川楝素沉积量是 $0.42426\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

2.2.2 喷液量、稀释倍数和喷头高度对 2% 川楝素乳油在甘蓝叶面上的沉积量的影响 选取不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度为试验因素,按照中心组合试验设计的方法确定试验方案,具体的 Central Composite Design 试验方案以及响应值沉积量(R1) 见表 6。根据表 6 中的试验结果,借助 design expert 8.0.6 软件进行模拟,得到计算单位面积沉积量的回归方程为:

$$Y = 1.46 + 0.17a - 0.38b + 0.067c ,$$

式中: Y 表示单位沉积量, a, b, c 表示不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度的值。

表 6 喷雾条件对川楝素在甘蓝上沉积量影响中心组合试验设计及结果

Tab.6 The central composite design and results of the effect of spray condition on toosendanin deposition on cabbage leaves				
	A	B	C	R1/($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)
1	0	-1.68	0	0.177
2	-1	-1	-1	0.241
3	1	-1	-1	0.151
4	-1	-1	1	0.183
5	1	-1	1	0.266
6	0	0	-1.68	0.097
7	-1.68	0	0	0.106
8	0	0	0	0.133
9	0	0	0	0.133
10	0	0	0	0.133
11	1.68	0	0	0.203
12	0	0	1.68	0.140
13	-1	1	-1	0.099
14	1	1	-1	0.164
15	-1	1	1	0.110
16	1	1	1	0.116
17	0	1.68	0	0.076
18	0	0	0	0.133
19	0	0	0	0.133
20	0	0	0	0.133

中心组合设计试验预测模型的方差分析结果(表 7) 表明,该模型达到极显著的水平($P<0.01$),显示该拟合预测模型方程在 $\alpha=0.01$ 概率水平上回归显著,方程为一次方程,各因素间无交互作用。

结合表 7 与回归方程可以看出,因素之间交互作用可以忽略不计。从单个因素对响应值的影响来看,B-药液稀释倍数对沉积量的影响最为明显,为负效应; A-喷液量对沉积量较小,为正效应,C-喷头高度对沉积量的影响最小,也为正效应。方程为一次方程,在一定范围内有最大值。

表 7 川楝素在甘蓝上沉积量预测模型的 ANOVA 分析结果

Tab. 7 ANOVA results for the Deposition of toosendanin on cabbager leaves

来源 Source of variations	离差平方和 Sum of squares	自由度 DF	均方 Mean squares	F 值 F-value	P 值 P-value
模型 model	2.43	3	0.81	6.69	0.003 9
A-喷液量 A-volume	0.37	1	0.37	3.09	0.097 9
B-药液稀释倍数 B-dilution ratio	2.00	1	2.00	16.49	0.000 9
C-喷头高度 C-sprinkler height	0.062	1	0.062	0.51	0.485 5
残差 residual	1.94	16	0.12		
失拟项 Lack of fit	1.94	11	0.18		
纯试验误差 Pure error	0.000	5	0.000		
总变异 total	4.37	19			

软件计算结果表明,当喷药量为 $694 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$, 稀释倍数为 600, 喷头高度为 70 cm 时, 2% 川楝素乳油在甘蓝叶片上的沉积量最大, 此时甘蓝叶片上川楝素沉积量是 $0.273 85 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

表 8 喷雾条件对川楝素在黄瓜上沉积量影响中心组合试验设计及结果

Tab. 8 The central composite design and results of the effect of spray condition on toosendanin deposition on cucumber leaves

	A	B	C	R1/($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)
1	0	-1.68	0	0.444
2	-1	-1	-1	0.509
3	1	-1	-1	0.416
4	-1	-1	1	0.243
5	1	-1	1	0.413
6	0	0	-1.68	0.265
7	-1.68	0	0	0.185
8	0	0	0	0.235
9	0	0	0	0.235
10	0	0	0	0.235
11	1.68	0	0	0.355
12	0	0	1.68	0.272
13	-1	1	-1	0.296
14	1	1	-1	0.532
15	-1	1	1	0.247
16	1	1	1	0.230
17	0	1.68	0	0.312
18	0	0	0	0.235
19	0	0	0	0.235
20	0	0	0	0.235

2.2.3 喷液量、稀释倍数和喷头高度对 2% 川楝素乳油在黄瓜叶面上的沉积量的影响 选取不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度为试验因素,按照中心组合试验设计的方法确定试验方案,具体的 Central Composite Design 试验方案以及响应值沉积量(R1) 见表 8。根据表 8 中的试验结果,借助 design expert 8.0.6 软件进行模拟,得到计算单位面积沉积量的回归方程为:

$$Y = 3.06 + 0.43a - 0.37b - 0.44c ,$$

式中: Y 表示单位面积沉积量, a , b , c 表示不同的喷药量、稀释倍数和喷头高度的值。

中心组合设计试验预测模型的方差分析结果(表 9) 表明,该模型达到显著的水平($P < 0.05$),显示该拟合预测模型方程在 $\alpha = 0.05$ 概率水平上回归显著,方程为一次方程,各因素间无交互作用。结合表 9 与回归方程可以看出,因素之间交互作用可以忽略不计。从单个因素对响应值的影响来看,C-喷头高度对沉积量的影响最为明显,为负效应; A-喷液量对沉积量影响较小,为正效应, B-药液稀释倍数对沉积量的影响最小,为负效应。方程为一次方程,在一定范围内有最大值。

表 9 川楝素在黄瓜上沉积量预测模型的 ANOVA 分析结果
Tab. 9 ANOVA results for the Deposition of toosendanin on cucumber leaves

来源 Source of variations	离差平方和 Sum of squares	自由度 DF	均方 Mean squares	F 值 F -value	P 值 P -value
模型 model	7.01	3	2.34	2.91	0.046 6
A-喷液量 A-volume	2.48	1	2.48	3.09	0.097 9
B-药液稀释倍数 B-dilution ratio	1.82	1	1.82	2.27	0.151 1
C-喷头高度 C-sprinkler height	2.71	1	2.71	3.38	0.084 6
残差 residual	12.84	16	0.80		
失拟项 Lack of fit	12.84	11	1.17		
纯试验误差 Pure error	0.000	5	0		
总变异 total	19.84	19			

软件计算结果表明,当喷药量是 $406\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$,稀释倍数是 600,喷头高度为 50 cm 时,2% 川楝素乳油在黄瓜叶片上的沉积量最大,此时黄瓜叶片上川楝素沉积量是 $0.430\ 03\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

3 讨 论

3.1 喷雾雾滴粒径对药剂在作物叶片上的沉积与作物叶片结构特性密切相关 喷雾雾滴粒径对药剂在作物叶片上的沉积量有较大影响,较小的喷雾雾滴有助于药剂在作物叶片上的沉积。本试验结果表明,喷雾雾滴大小对 2% 川楝素乳油在作物叶片表面的沉积有较大影响,但雾滴大小对药剂沉积量的影响与作物叶片结表面特性密切相关,作物叶片结构特性不同,喷雾雾滴变化对药剂在作物叶片表面的原始沉积量影响也不尽相同。尽管差异不显著,但在 $\text{VMD}151.7\sim215.3\ \mu\text{m}$ 范围内,随喷雾雾滴的增加,2% 川楝素乳油在小白菜和黄瓜上的沉积量也随之增加;而当供试作物为甘蓝时,喷雾雾滴粒径增加会显著降低川楝素乳油在甘蓝叶片表面的原始沉积量。因此,建议在黄瓜和小白菜上施药时,选择 $\text{VMD}215.3\ \mu\text{m}$ 的喷头,而在甘蓝上施药时,选择 $\text{VMD}151.7\ \mu\text{m}$ 的喷头。

3.2 喷液量、喷头高度和药液稀释倍数对 2% 川楝素乳油在作物叶片表面的沉积有较大影响, 各因素对川楝素乳油在作物叶片表面沉积量的影响权重与叶片结构特性有关 本试验结果表明, 当供试作物为小白菜时, 喷液量、喷头高度和药液稀释倍数 3 个影响因素中, 影响最大的为药剂的稀释倍数, 为负效应, 即随着药液稀释倍数的增加, 川楝素在叶片表面的原始沉积量减小; 次要影响因素为喷头高度, 亦为负效应, 即喷头高度越高, 沉积量越小; 影响最小的喷液量, 随着喷液量的增加, 叶片表面的单位沉积量也增加。当供试作物为甘蓝时, 喷液量、喷头高度和药液稀释倍数 3 个影响因素中, 影响最大的均为药剂的稀释倍数, 为负效应, 即随着药液稀释倍数的增加, 3 种作物表面单位面积川楝素均减小; 与在小白菜叶面不同的是, 次要影响因素为喷液量, 喷液量为正效应, 随着喷液量的增加, 叶片表面的单位沉积量也增加; 影响最小为喷头高度, 也为正效应。当供试作物为黄瓜时, 喷头高度对沉积量的影响最为明显, 为负效应; 其次为喷液量, 为正效应; 药液稀释倍数对沉积量的影响最小, 为负效应。综合以上试验结果可以得出, 较小的稀释倍数、适当的增加喷液量和较小的喷头高度有利于 2% 川楝素乳油在作物表面的沉积。

参考文献:

- [1] HEWITT A J. Spray optimization through application and liquid physical property variables-I [J]. *Environmentalist*, 2008, 28, 25-30.
- [2] 邱白晶, 李佐鹏, 吴昊, 等. 变量喷雾装置响应性能的试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23 (11): 148-152
- [3] TIAN L, REID J F, HUMMEL J W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management [J]. *Transaction of the ASAE*, 1999, 42 (4): 893-900.
- [4] 肖丽萍, 蔡金平, 刘木华, 等. 不同生物农药的喷雾覆盖率与叶面沉积量的试验研究 [J]. *农机化研究*, 2018 (9): 189-194.
- [5] BUTLER ELLIS M C, MILLER P C H. The Silsoe spray drift model: a model of spray drift for the assessment of non-target exposures to pesticides [J]. *Biosyst Eng*, 2010, 107: 169-177.
- [6] 邱白晶, 李佐鹏, 吴昊, 等. 变量喷雾装置响应性能的试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23 (11): 148-152.
- [7] 朱金文, 周国军, 曹亚波, 等. 氟虫腈药液在水稻叶片上的沉积特性研究 [J]. *农药学学报*, 2009, 1 (2): 250-254.
- [8] 杨希娃, 代美灵, 宋坚利, 等. 雾滴大小、叶片表面特性与倾角对农药沉积量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28 (3): 70-73
- [9] CHOWDHURY A B, JEPSON P C, HOWSE P E, et al. Leaf surfaces and the bioavailability of pesticide residue [J]. *Pest Manag Sci.*, 2001, 57: 403-412.
- [10] YOUNG B. W. Studies on the retention and deposit characteristics of pesticide sprays on foliage [C] // CIGR. Application Meeting, IXth CIGR Congress. East Lansing: CIGR, 1979: 1-4.
- [12] HIL Z E, VERMEER A V P. Effect of formulation on spray drift: a case study for commercial imidacloprid products [J]. *Asp. Appl. Biol.*, 2012, 114: 445-450.
- [13] DOWNER R A, HALL F R, THOMPSON R S. Temperature effects on atomization by flat-fan nozzles: implications for drift management and evidence for surfactant concentration gradients [J]. *Atomization Spray*, 1998 (8): 241-254.
- [14] QIN K, TANK H, WILSON S. Controlling droplet size distribution using oil emulsions in agricultural sprays [J]. *Atomization Spray*, 2010, 20: 227-239.
- [15] ZHANG Y, TANG C P, Ke C Q, et al. Limonoids and triterpenoids from the stem bark of *Melia toosendan* [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73: 664-668.
- [16] ZHAO L, HUO CH, SHEN LR, et al. Chemical constituents of plants from the genus *Melia* [J]. *Chem Biodivers*, 2010 (7): 839-859.
- [17] SHI Y L, LI M F. Biological effects of toosendanin, a triterpenoid extracted from Chinese traditional medicine. [J]. *Prog Neurobiol*, 2007, 82: 1-10.
- [18] 徐德进, 徐广春, 许小龙, 等. 基于沉积量和生物效果的甘蓝小菜蛾防治喷雾参数优化 [J]. *植物保护学报*, 2015, 42 (5): 755-762.
- [19] LIAO C, LIU X Q. Observation on the cephalic sensory organ of the oriental armyworm with scanning electron microscope and

- the antifeedant activities of toosendanin [J]. J. S. China Agric Univ. , 1986(7): 43 – 48.
- [20] SHI Y L, WANG W P, LIAO C Y, et al. Effect of toosendanin on the sensory inputs of chemo-receptors in the armyworm larvae (*Mythimna separata*) [J]. Acta Entomol Sin. , 1986, 29: 233 – 239.
- [21] AMASON J T, PHILOGENEENE B J R. , MORAND P. American Chemical Society Symposium Series [M]. Washington D C: Research Gate, 1989: 69 – 77.
- [22] CHIU SF, ZHANG X. A critical review of toosendanin, a novel insecticide isolated from *Melia toosendan* Sied et Zucc (*Meliaceae*) [J]. J. S China Agric Univ. , 1987(8): 57 – 67.
- [23] KOUL O, MULTANI JS, SINGH G, et al. Bioefficacy of toosendanin from *Melia dubia* (syn. *Mazedarach*) against gram pod-borer, *Helicoverpa armigera* [J]. Curr Sci. , 2002, 83: 1387 – 1391.
- [24] 徐敦明, 李飞, 冯俊涛, 等. 几种植物源提制品对鱼的毒性与安全性评价 [J]. 农药学学报, 2004, 6(3): 89 – 92 .
- [25] 张亚妮, 马志卿, 王海鹏, 等. 植物源杀虫剂川楝素对环境生物安全性评价 [J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 2038 – 2045.
- [26] 张兴. 几种川楝素提制品对菜青虫的生物活性 [J]. 植物保护学报, 1989, 16(3): 205 – 210 .
- [27] 张兴, 王兴林, 冯俊涛, 等. 植物性杀虫剂川楝素的开发研究 [J]. 西北农业大学学报, 1993, 21(4): 1 – 5.

Optimum Spray Condition of Toosendanin EC for Three Crops

ZHOU Yiwan¹, WU Liyuan¹, ZHANG Xing^{1,2}, FENG Juntao¹

(1. Research & Development Center of Biorational Pesticides, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Shannxi Center for Engineering and Technology Research of Biopesticides, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino), cucumber (*Cucumis sativus* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.) were sprayed with 2% toosendanin EC to determine the relationship between toosendanin deposition on their leaves and spray conditions. Single-factor design and Center Composite Design (CCD) were arranged to analyze the effect of droplets size, spray volume, dilution ratio and sprinkler head height on toosendanin deposition on the leaves of three crops. The results show that the optimum spray conditions were droplets VMD 215.3 μm , spray volume 406L/ha, dilution ratio 600 and sprinkler head height 50cm for cucumber and pakchoi leaves and droplets VMD 151.7 μm , spray volume 694L/ha, dilution ratio 600 and sprinkler head height 70cm for cabbage leaves.

Keywords: toosendanin, deposition, spray condition

(责任编辑: 潘学峰)