

· 研究论文 ·

doi: 10.16801/j.issn.1008-7303.2021.0030

松脂二烯喷雾助剂制备及应用性能

韩群琦¹, 朱 昶², 潘江灵³, 陈安良^{*,1}

(1. 浙江农林大学 生物农药高效制备技术国家地方联合工程实验室, 浙江 临安 311300; 2. 武义县自然资源和规划局, 浙江 武义 321200; 3. 浙江省林业资金管理中心, 杭州 310020)

摘 要: 为拓展松脂二烯应用, 探究了松脂二烯喷雾助剂 (PA) 的制备与应用性能。以 Vapor Gard (VG) 为对比, 分别测定了两种松脂二烯喷雾助剂不同稀释倍数下的表面张力及在山核桃和红叶石楠叶片上的静态接触角, 并利用扫描电镜观察了两种助剂在红叶石楠叶片上的成膜形态。采用植保无人飞机喷雾, 研究了戊唑醇药液中添加两种松脂二烯喷雾助剂对雾滴粒径、沉积密度、覆盖率和沉积量的影响。结果表明: 两种松脂二烯喷雾助剂 PA 和 VG 均能显著降低溶液的表面张力及其在山核桃与红叶石楠叶上的静态接触角, 且添加量越大效果越好, 而 PA 的效果优于 VG。两种助剂均能在叶片上成膜并包被农药颗粒, 且 PA 在叶片上成膜覆盖更均匀。PA 在添加量 (质量分数) 为 0.1% 时即可达到最大覆盖率与雾滴沉积量, 效果优于添加 VG 的各试验浓度下结果。本研究表明, 松脂二烯喷雾助剂 PA 有助于增进喷雾雾滴沉积, 提高液滴在叶面的铺展润湿性, 促进成膜包裹药物颗粒, 从而系统提高农药利用率。

关键词: 松脂二烯; 喷雾助剂; 表面张力; 接触角; 植保无人飞机; 雾滴沉积

中图分类号: TQ450.45; S482.92

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2021)01-0176-07

Preparation and application performance of pinolene spray adjuvant

HAN Qunqi¹, ZHU Chang², PAN Jiangling³, CHEN Anliang^{*,1}

(1. Local and National Joint Engineering Laboratory of Biopesticide High-Efficient Preparation Technology, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, Zhejiang Province, China; 2. Bureau of Natural Resources and Planning of Wuyi County, Wuyi 321200, Zhejiang Province, China; 3. Zhejiang Forestry Fund Management Center, Hangzhou 310020, China)

Abstract: In order to expand the application of pinolene, preparation and application performance of the self-made pinolene spray adjuvant PA was explored. Using Vapor Gard (VG) as a comparison, the surface tension and static contact angle on leaf of *Photinia × fraseri* Dress. and *Carya cathayensis* Sarg. of two pinolene spray adjuvants with different concentrations were measured respectively. Influences of two pinolene spray adjuvants on the leaf surface morphology were detected by electron microscopy. Meanwhile, the influences of adding pinolene spray adjuvants in tebuconazole on droplet size, droplet density, coverage and deposition of unmanned aerial vehicle (UAV) spraying were also measured. The results showed that the surface tension and the static contact angles of droplets on both leaves declined significantly with adding each pinolene spray adjuvant, and the greater the amount added, the better the wetting effect. Furthermore, effect of PA was more significant. Both adjuvants can form a film on the

收稿日期: 2020-03-21; 录用日期: 2020-08-14.

基金项目: 国家林业局 948 项目 (2015-4-40).

作者简介: 韩群琦, 男, 硕士研究生, E-mail: hanqq2333@qq.com; *陈安良, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 教授, 主要从事生物农药研究, E-mail: anlchen@126.com

leaves which wrapped the pesticide particles, and film-forming of PA was more evenly distributed. When the spray with 0.1% PA added, coverage and deposition were the highest, better than each treatment of VG. The results suggested that PA contributes to the deposition of droplet, spreading and wetting of solution on the leaf surface, and prolongs effect by forming film, thereby systematically improving the utilization rate of pesticides.

Keywords: pinolene; spray adjuvants; surface tension; contact angle; plant-protection unmanned aerial vehicle; droplet deposition

松脂二烯 (pinolene), 化学名称为 2-甲基-4-(1-甲基乙基)-环己烯二聚物, 是一种存在于松脂内的化合物。松脂二烯常作为抗蒸腾剂用于树木移栽, 移植前进行叶面喷洒, 减少水分蒸发, 可提高移栽成活率; 也可用于果蔬贮藏, 于收获前后进行喷果或浸果, 可防止果蔬变干, 维持果皮色泽和果实硬度, 减少贮藏损失^[1-4]。Blazquez 报道^[5-6], 松脂二烯与杀菌剂配合使用, 可使杀菌剂在叶片上滞留时间延长, 有效防治黄瓜霜霉病和黄瓜褐斑病; 添加松脂二烯可使甲萘威在番茄叶片上的初始沉积量增加, 同时降低甲萘威在番茄叶片上的分解速率。有研究表明, 在百菌清药液中添加松脂二烯, 其对月季黑斑病^[7]及异菌脉防治花生菌核病^[8]的防治效果均得到提升。由此笔者推测, 松脂二烯具有良好的喷雾性能。目前, 松脂二烯的生产和使用主要在国外, 且主要应用在抗蒸腾剂方面, 并已经有松脂二烯抗蒸腾剂产品登记信息^[9]。前期的文献报道多为松脂二烯的田间试验结果, 对其喷雾性能研究报道较少。朱昶等^[10]研究了在噻虫啉和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐中添加松脂二烯后可使药液干燥后成膜, 达到农药有效成分抗雨水冲刷和抗光解的效果。

本研究自行配制了松脂二烯喷雾助剂, 对其性能进行测定, 并以国外主流松脂二烯产品 VAPOR GARD (下称 VG) 为对照, 分析了其润湿铺展性能和成膜性能; 采用植保无人飞机喷雾施药, 研究了喷雾助剂对雾滴粒径、沉积密度、覆盖率及沉积量的影响, 旨在为拓展松脂二烯在喷雾助剂方面的应用提供理论指导和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

仪器: Agilent 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪 (美国安捷伦公司); 超声波清洗仪 (昆山市超声仪器有限公司); PW-100-011 扫描电镜 (荷兰

PhenomWorld 公司); CHRIST 冷冻干燥仪 (德国 CHRIST 公司); Erma 接触角测定仪 (Tokyo 公司); BZY-1 全自动表面张力仪 (上海衡平仪器仪表厂); T16 植保无人飞机 (深圳市大疆创新科技有限公司); Winner319C 喷雾粒度分析仪 (济南微纳颗粒仪器股份有限公司); 佳能 5600F 扫描仪 (佳能有限公司); 紫外可见分光光度计 UV-2550 (日本岛津公司)。

试剂: 96% 松脂二烯 (厦门重华源化工有限公司); VAPOR GARD (VG, 含松脂二烯 66.7%, 美国 MILLER 公司); 烷基酚聚氧乙烯醚 OP-10 (浙江世佳科技股份有限公司); 甲醇和乙腈, 色谱纯 (国药集团试剂有限公司); 正丁醇和松节油, 分析纯 (国药集团试剂有限公司); 萘烯树脂 (江西华锦新材料有限公司); 25% 戊唑醇 (tebuconazole) 水乳剂 (深圳诺普信农化股份有限公司); 85% 诱惑红 (上海源叶生物科技有限公司)。

供试植株: 红叶石楠 *Photinia* × *fraseri* Dress.; 山核桃 *Carya cathayensis* Sarg., 种植于浙江农林大学东湖校区, 健康状况良好。

1.2 松脂二烯喷雾助剂的配制及质量性能测定

1.2.1 松脂二烯喷雾助剂的配制 准确称取 1.90 g 松节油于 50 mL 烧杯中, 加入萘烯树脂 0.10 g, 在 35 °C 水浴锅中搅拌溶解; 加入松脂二烯 5.21 g 和正丁醇 1.79 g, 搅拌均匀; 最后加入 OP-10 乳化剂 1.00 g, 搅拌至澄清透明液体, 得松脂二烯喷雾助剂 (以下简称 PA)。

1.2.2 松脂二烯喷雾助剂的质量性能测定

1.2.2.1 有效含量测定 利用气相色谱-质谱联用仪对喷雾助剂中松脂二烯含量进行检测。

1.2.2.2 乳液稳定性测定^[11] 在 250 mL 烧杯中加入 100 mL 温度为 25~30 °C、硬度为 342 mg/L 的硬水。吸取样品 PA 0.5 mL, 在搅拌下缓慢地加入硬水中, 配成乳状液, 并转移至 25~30 °C 水浴中静置 1 h, 观察乳液分离情况。若无析出、不分

层、溶液均一则为合格。

1.2.2.3 pH 测定^[12] 称取 1 g 样品于 250 mL 烧杯, 加入 100 mL 蒸馏水, 搅拌完全溶解后静置 15 min, 用经校准的 pH 计重复测试 3 次, 取平均值。

1.2.2.4 热贮稳定性测定^[13] 将样品密封在玻璃容器中, 于 $(54 \pm 2)^\circ\text{C}$ 培养箱中培养 14 d 后取出, 降温至室温, 测定其有效成分含量及乳液稳定性。

1.2.2.5 低温稳定性测定^[14] 将样品置于 0°C 下贮存 7 d 后, 无结晶析出、无分层现象视为合格; 有析出物, 但在室温下很快能消失亦视为合格。

1.3 松脂二烯喷雾助剂对药液表面性能的影响

1.3.1 松脂二烯喷雾助剂对药液接触角的影响 用蒸馏水将 PA 和对照助剂 VG 分别配制成质量分数为 0.05%、0.1%、0.5% 和 1% 的助剂溶液, 同时以蒸馏水作为对照组。分别采集新鲜的山核桃和红叶石楠叶片, 剪成小块, 固定于载玻片并置于接触角测定仪的载物台上, 在密闭环境中 (温度 $25\sim 28^\circ\text{C}$, 相对湿度 75%~80%) 用微量进样器吸取 1 μL 供试药液于叶片正面。选取 30 s 时的接触角为静态接触角, 每处理重复 8 次, 取平均值。

1.3.2 松脂二烯喷雾助剂对药液表面张力的影响 用蒸馏水将 PA、VG 分别配制成质量分数为 0.05%、0.1%、0.5% 和 1% 的助剂溶液。在室温下用全自动表面张力仪测定其表面张力, 重复 3 次。

1.3.3 成膜性能表征 将戊唑醇水乳剂用蒸馏水稀释成 1 L 质量浓度为 500 mg/L 的悬浮液, 标记为 T, 分别加入 PA 和 VG, 充分搅拌, 记为 T+3%PA 和 T+3%VG。

采用扫描电镜进行观测^[15]。将 9 株长势相近的健康红叶石楠分为 3 组, 每组 3 株。在叶片上用手持喷雾器分别喷施 T+3%PA、T+3%VG 和 T 3 种不同处理。喷施至药液完全润湿植物叶片时停止。自然晾干 24 h 后, 分别选取各处理植株顶端、大小相近的叶片, 置于冷冻干燥仪中 30 min。避开中心叶脉, 剪取 $0.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ 的样品, 用双面碳基导电胶带将样品固定于载物台上, 在真空中对植株叶片进行 60 s 喷金处理, 采用扫描电镜在高倍镜下观测样品的形貌。

1.4 松脂二烯喷雾助剂对雾滴粒径的影响

在 25% 戊唑醇水乳剂 1 000 倍液, 分别

添加质量浓度为 0.1%、0.5% 和 1.0% 的 PA 与 VG 助剂。喷雾器采用 XR11001VS 型喷嘴, 工作压力为 0.40 MPa。用 Winner319C 喷雾粒度分析仪分别测定距喷嘴 1 m 处的雾滴粒径, 每个处理重复测定 3 次。

1.5 松脂二烯喷雾助剂喷雾雾滴沉积性能测定

1.5.1 处理设置及飞行参数 在 25% 戊唑醇水乳剂 1 000 倍液中, 分别添加质量浓度为 0.1%、0.5% 和 1.0% 的 PA 与 VG 助剂, 添加 1% 诱惑红为示踪剂^[16]。采用植保无人飞机施药, 喷嘴为 XR11001VS, 工作压力为 0.40 MPa, 喷施高度 2.8 m, 飞行速度 4.5 m/s, 喷施速度 2 L/min。以 25% 戊唑醇水乳剂 1 000 倍液为对照, 每处理重复 3 次。

1.5.2 雾滴沉积密度与雾滴覆盖率检测 在距离起飞线 10、20 和 30 m 处设置 3 条垂直于飞行航线的采集带, 每条采集带均匀设置 11 个采集点, 同一采集带的采集点间隔 0.4 m, 每个采集点处插一根实验杆, 在实验杆距离地面 0.9 m 处用双头夹分别平铺固定水敏纸和滤纸。无人飞机喷雾结束后, 分别收集水敏纸和滤纸。对水敏纸进行扫描后, 用 Desposit scan 软件统计雾滴密度和覆盖率^[17]。

1.5.3 雾滴沉积量检测 喷雾结束后, 用紫外-可见分光光度计对收集的滤纸进行药液沉积量测定^[18]。先配制 0.5、1.0、5.0、10.0 mg/L 的诱惑红标准溶液, 于 514 nm 下测定吸光度值。每浓度重复 3 次, 并拟合诱惑红溶液质量浓度与吸光度值的线性方程。

在每个装有滤纸的自封袋中加入 5 mL 蒸馏水, 超声振荡 15 min, 取洗脱液用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 水系滤膜过滤, 利用紫外-可见分光光度计测定诱惑红吸光度值 A_e , 再通过诱惑红标准溶液线性回归方程换算为质量浓度 Q_e , 根据公式 $\beta = Q_e V / S$, 计算单位面积的沉积量。其中: β 为单位面积雾滴沉积量, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; Q_e 为洗脱液中诱惑红的质量浓度, $\mu\text{g}/\text{mL}$; V 为加入洗脱液的体积, mL; S 为滤纸有效收集面积, cm^2 。

2 结果与分析

2.1 松脂二烯喷雾助剂 (PA) 的质量性能

本研究所配制成的 PA 为橘红色透明液体, 各项质量性能符合农药制剂标准要求^[11-14]。其质量性能见表 1。

表 1 松脂二烯喷雾助剂 (PA) 的质量性能

Table 1 Quality performance of pinolene spray adjuvant (PA)

项目 Item	质量性能 Quality performance
外观 Appearance	橘红色透明液体 Jacinth transparent liquid
松脂二烯含量 Content of pinelene/%	50.0
乳油稳定性 Emulsion stability	合格 Qualified
pH	6.4 ± 0.3
热贮稳定性 Stability by heating storage	合格 Qualified
低温稳定性 Stability by low temperature	合格 Qualified

2.2 松脂二烯喷雾助剂对溶液接触角和表面张力的影响

测定了添加 PA 和 VG 的溶液在植物叶片上的静态接触角和液体的表面张力, 结果见表 2。山核桃叶正面带有绒毛, 利于液体润湿, 而红叶石楠叶片具有较厚蜡质层, 液体不易润湿。在山核桃与红叶石楠两种叶片上, 含各浓度 PA 和 VG 的溶液, 其接触角均低于蒸馏水的接触角, 说明添加 PA 与 VG 均有助于液滴在两种叶片上的附着与润湿。针对两种叶片, 在添加量相同的情况下, 添加 PA 的接触角均小于添加 VG 的, 说明添加 PA 的溶液在山核桃叶和红叶石楠叶上的润湿铺展效果优于添加 VG。其中, 添加 1% PA 的溶液能在两种叶片上完全铺展开。

表 2 添加松脂二烯喷雾助剂对溶液静态接触角及表面张力的影响

Table 2 The effects of adding pinolene spray adjuvants in solution on static contact angle and surface tension

助剂 Adjuvant	添加量 Mass fraction/%	静态接触角 Static contact angle/(°)		表面张力 Surface tension/(mN/m)
		山核桃叶 <i>Carya cathayensis</i> leaf	红叶石楠叶 <i>Photinia × fraseri</i> leaf	
PA	0.05	47.1 ± 3.1 b	56.6 ± 3.1 c	35.11 ± 0.10 b
	0.1	35.0 ± 2.5 de	42.3 ± 3.4 d	33.06 ± 0.05 d
	0.5	23.3 ± 2.3 f	23.4 ± 2.5 g	23.97 ± 0.38 h
	1	—	—	23.39 ± 0.10 i
VG	0.05	46.3 ± 2.3 bc	59.8 ± 2.2 b	34.27 ± 0.15 c
	0.1	43.8 ± 3.0 c	54.4 ± 3.1 c	31.53 ± 0.12 e
	0.5	37.4 ± 2.6 d	35.8 ± 2.9 e	30.17 ± 0.47 f
	1	33.9 ± 2.9 e	28.2 ± 2.2 f	28.77 ± 0.15 g
蒸馏水 Distilled water		66.9 ± 1.2 a	78.3 ± 3.3 a	72.40 ± 0.50 a

注: 同一指标不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。—表示接触角太低未检出。
Note: Data of the same index with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ level. — indicating contact angle is too low to detect.

在各添加水平下, 添加两种助剂的溶液表面张力均低于蒸馏水的表面张力, 且差异显著, 其中添加 0.1% 的 PA 与 VG 时, 药液的表面张力分别下降至最低 (较对照分别降低 67.7% 和 60.3%)。说明添加 PA 与 VG 能显著降低药液的表面张力, 有助于药液的润湿展布, 进而有助于发挥药效。

2.3 表面成膜性能

扫描电镜结果 (图 1) 表明: 对比 3 种处理, 在 T+3%VG 和 T+3%PA 处理中的戊唑醇水乳剂颗粒表面均有松脂二烯呈膜状覆盖, 且在 T+3%PA 处理中叶片表面呈现出更多的均匀褶皱纹路, 说明 VG 和 PA 两种松脂二烯助剂干燥后均能成膜包被药物颗粒, 具有成膜性能, 而 PA 成膜效果较

VG 更均匀。

2.4 松脂二烯喷雾助剂对雾滴粒径的影响

以雾滴体积中径 (DV_{50}) 为评价指标研究喷雾助剂对雾滴粒径的影响。结果 (表 3) 表明, 添加 PA, DV_{50} 未产生显著变化; 添加 VG, 随添加量的增加, DV_{50} 值变大, 其中在添加量为 1% 时, DV_{50} 值达到最大, 为 146.63 μm , 显著高于对照。雾滴相对跨度 (RS) 体现着雾滴谱跨度, RS 值越小表明雾滴谱越窄, 喷雾效果越均匀。如表 3 所示, 添加不同浓度松脂二烯喷雾助剂均能提高雾滴均匀度。PA 助剂虽对雾滴体积中径未有显著影响, 但降低了雾滴相对跨度, 其中添加 0.1%PA 对雾滴均匀度提升最为显著。

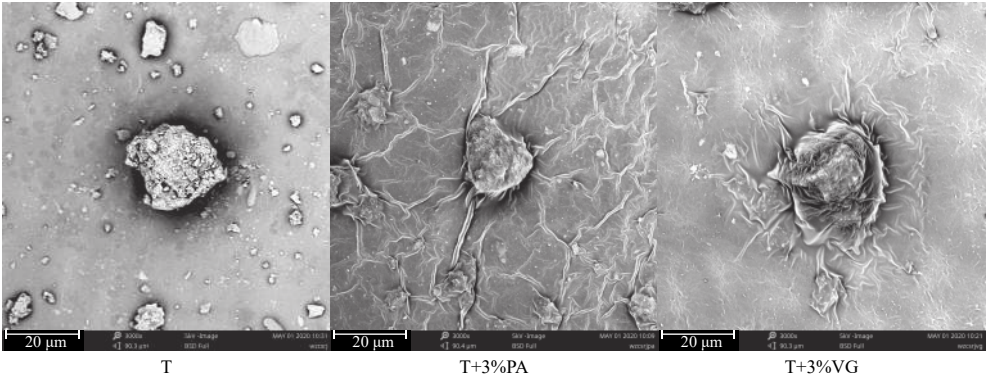


图 1 松脂二烯与戊唑醇水乳剂在红叶石楠上的电镜 (3 000 ×)

Fig. 1 Scanning electron microscope images of pinolene and tebuconazole aqueous emulsion on *Photinia × fraseri* leaf (3 000 ×)

表 3 不同助剂对雾滴体积中径及雾滴相对跨度的影响

Table 3 The effects of different adjuvants on droplet diameter and relative span

处理编号 Treatment number	助剂 Adjuvant	添加量 Mass fraction/%	雾滴体积中径 Volume median diameter, DV ₅₀ /μm	雾滴相对跨度 Relative span, RS/%
1	PA	0.1	139.16 ± 0.54 d	1.504 ± 0.006 d
2	PA	0.5	140.09 ± 0.51 cd	1.544 ± 0.004 c
3	PA	1	142.25 ± 1.18 bc	1.563 ± 0.005 b
4	VG	0.1	143.76 ± 0.90 ab	1.560 ± 0.003 b
5	VG	0.5	145.69 ± 1.46 a	1.556 ± 0.007 b
6	VG	1	146.63 ± 0.88 a	1.559 ± 0.003 b
7	—	—	140.79 ± 0.39 cd	1.634 ± 0.004 a

注：同一指标不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Data of the same index with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ level.

2.5 松脂二烯喷雾助剂对无人飞机喷雾雾滴沉积性能的影响

由表 4 可知，添加两种喷雾助剂均能不同程度地提高雾滴密度，但只有添加 0.5% VG 的处理效果显著。添加不同喷雾助剂对雾滴在水敏纸上

的覆盖率均具有一定影响，其中添加 0.1%PA 时覆盖率最高，较对照提高 35.6%，随着 PA 添加量的增加，覆盖率下降；随着 VG 添加量的增加，覆盖率先上升后下降，0.5% 添加量时覆盖率达最高，较对照提升 18.7%。添加量在 0.1%~1% 范围

表 4 不同助剂对雾滴密度及覆盖率的影响

Table 4 The effects of different adjuvants on droplet density and coverage

处理编号 Treatment number	助剂 Adjuvant	添加量 Mass fraction/%	雾滴密度 Droplet density (No./cm ²)	覆盖率 Coverage/%
1	PA	0.1	36.27 ± 3.00 ab	9.19 ± 0.97 a
2	PA	0.5	40.63 ± 3.67 ab	8.23 ± 0.83 ab
3	PA	1	36.31 ± 2.33 ab	5.50 ± 0.47 c
4	VG	0.1	36.72 ± 2.20 ab	6.24 ± 0.53 bc
5	VG	0.5	45.78 ± 4.48 a	8.06 ± 0.88 ab
6	VG	1	41.34 ± 2.63 ab	7.90 ± 0.77 ab
7	—	—	34.17 ± 2.01 b	6.79 ± 0.54 bc

注：同一指标不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Data of the same index with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ level.

内，VG 助剂组的覆盖率呈现先上升后下降，推测 PA 助剂组也可能存在类似趋势，PA 助剂的低剂量试验还需进一步研究。

2.6 添加不同助剂对无人飞机喷雾雾滴沉积量的影响

由图 2 可知，添加 0.1% 和 0.5% 的 PA 后，各采集点雾滴沉积量较对照有不同程度提升，而添加 1% 的 PA 则使各采集点雾滴沉积量低于对照；添加 VG 后各点雾滴沉积量变化规律不明显。

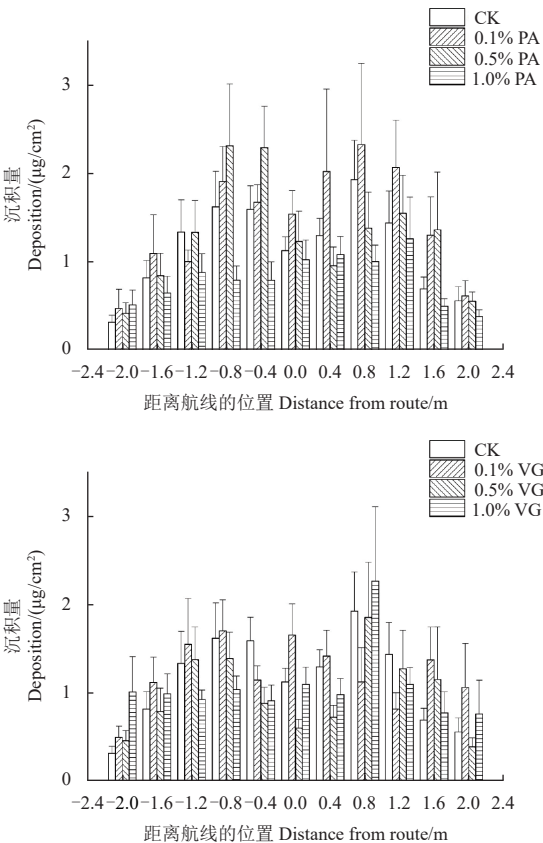
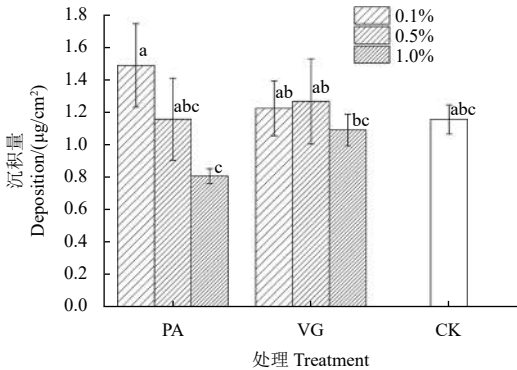


图 2 不同位置的雾滴沉积量沉积分布
Fig. 2 Distribution of droplet deposition at different positions

图 3 为不同处理的采集点平均沉积量，变化趋势与统计的雾滴沉积覆盖率基本一致。PA 添加量在 0.1% 时，雾滴沉积量均值最高为 1.495 μg/cm²，较对照提高 28.8%。VG 添加量为 0.5% 时，雾滴沉积量均值最高为 1.272 μg/cm²，较对照提高 9.6%。结合助剂雾滴粒径的影响发现，添加 0.1%PA 未对雾滴体积中径产生影响，而雾滴沉积量仍有较大提升，笔者推测是由于其对应的雾滴均匀性高，雾滴谱窄，小雾滴所占比例少，进而受漂移和蒸发影响相应减小。



注：同一指标不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Data of the same index with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ level.

图 3 不同助剂对雾滴沉积量的影响
Fig. 3 The effects of different adjuvants on droplet deposition

3 结论与讨论

松脂二烯具有良好的成膜性、黏附性，是一种环境友好型农药助剂^[8]。本研究研制了松脂二烯喷雾助剂 (PA)，其外观呈橘红色透明液体，各项质量性能均合格。试验发现，PA 能显著降低液滴在山核桃叶与红叶石楠叶上的接触角，有助于液滴在绒毛叶与厚蜡质层叶面的润湿铺展，且 PA 效果优于商品化助剂 VG。添加 PA 可以显著降低溶液表面张力，当添加量为 0.5% 时，其表面张力达最低，为 23.97 mN/m，低于水稻、小麦、棉花等常见作物临界表面张力^[19]，易湿润叶面，从而增加药液在叶片上持留量。PA 具有成膜性能，添加喷施并干燥后，形成薄膜包被药物颗粒。通过对比，PA 各方面喷雾性能均能达到国外产品 VG 的水平。

采用植保无人飞机喷雾，存在雾滴易漂移、蒸发等问题，致使雾滴沉积效果不理想。Nuyttens 等^[20] 研究发现，雾滴体积中径小于 75μm 占比越大，越易受风等外界因素影响，且在干燥高温的天气中，小雾滴更易直接蒸发。目前，添加喷雾助剂是提高喷雾沉积效果的普遍方式^[21]。雾滴体积中径越大，表示雾滴整体粒径越大，小雾滴占比越小；而雾滴相对跨度越大，表示雾滴谱越宽，小雾滴占比越大。雾滴试验中发现，随着 PA 用量增加，雾滴体积中径仅小幅增大，而雾滴相对跨度增大显著，这使得小雾滴占比增加，漂移蒸发损失量增大，最终雾滴覆盖率与雾滴沉积量均不断减小。此种现象与已报道的其他喷雾助

剂不同^[22]，其机理尚需进一步探究。添加 0.1% 的 PA 能提升无人飞机喷雾雾滴覆盖率和沉积量，提高雾滴沉积效果。

不同于一般喷雾助剂只具有润湿铺展性能，PA 功能丰富，可降低雾滴相对跨度，提高无人飞机雾滴沉积效果；在液滴沉积后，表面张力与接触角的降低有助于药液在叶面铺展润湿；干燥成膜能降低有效成分挥发和降解，延长持效时间。PA 可从雾滴沉积、药液展布、药物颗粒固定等方面系统提高农药利用率，在农药喷雾药液中添加松脂二烯助剂，符合“减药增效”的农药使用方向。

参考文献 (References):

[1] CUADRA-CRESPO P, DEL AMOR F M. Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperature[J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 90(15): 2716-2722.

[2] LAZAN H, ALI Z M, SANI H A. Effects of Vapor Gard on polygalacturonase, malic enzyme and ripening of *Harumanis mango*[J]. *Acta Horticulturae*, 1990, 269: 359-366.

[3] KHADER S E S A. Effect of gibberellic acid and Vapor Gard on ripening, amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage[J]. *Journal of Pomology & Horticultural Science*, 1992, 67(6): 855-860.

[4] HANAFYAHMED A H, RASHAD H M, SAMIA G E, et al. Effect of vapor gard and calcium chloride treatments on keeping quality of Navel oranges at different storage temperatures[J]. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 16(1): 137-159.

[5] BLAZQUEZ C H, MCGREW G T. Effect of Nu Film 17 on fungicides evaluated for control of cucumber target spot[J]. *Fla State Hort Soc Proc*, 1969, 82: 141-143.

[6] BLAZQUEZ C H, VIDYARTHI A D, SHEEHAN T D, et al. Effect of pinolene (β -pinene polymer) on carbaryl[J]. *J Agric Food Chem*, 1970, 18(4): 681-684.

[7] ROARK R S, BOWEN K L, BEHE B K. Management of blackspot on three rose cultivars using antitranspirants in combination with chlorothalonil[J]. *J Environ Hortic*, 2000, 18(3): 137-141.

[8] SMITH F D, PHIPPS P M, STIPES R J. Use of pinolene or other spray adjuvants with iprodione for improved control of *Sclerotinia* blight on peanut1[J]. *Peanut Sci*, 1991, 18(2): 97-101.

[9] SYMONDS B L, THOMSON N R, LINDSAY C I, et al. Rainfastness of poly(vinyl alcohol) deposits on *Vicia faba* leaf surfaces: from laboratory-scale washing to simulated rain[J]. *ACS appl Mater Inter*, 2016, 8(22): 14220-14230.

[10] 朱昶, 韩群琦, 陈安良. 松脂二烯在植物叶片表面的成膜性能[J]. *农药学报*, 2018, 20(4): 523-528.

ZHU C, HAN Q Q, CHEN A L. Film-forming properties of pinolene on leaf surface[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2018, 20(4): 523-528.

[11] 农药乳液稳定性测定方法: GB/T 1603—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

Determination method of emulsion stability for pesticides: GB/T 1603—2001[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.

[12] 农药 pH 值测定方法: GB/T 1601—1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.

Determination method of pH value for pesticides: GB/T 1601—1993[S]. Beijing: Standards Press of China, 1994.

[13] 农药热贮稳定性测定方法: GB/T 19136—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

Testing method for the storage stability at elevated temperature of pesticides: GB/T 19136—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.

[14] 农药冷温稳定性测定方法: GB/T19137—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

Testing method for the storage stability at low temperature of pesticides: GB/T 19137—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.

[15] 王碧, 覃松, 赵燕, 等. 葡甘聚糖-壳聚糖-聚乙烯醇共混膜的结构表征及性能研究[J]. *化学世界*, 2008(08): 470-473.

WANG B, QIN S, ZHAO Y, et al. Structure and properties of konjac glucomannan-chitosan-polyvinyl alcohol blend films[J]. *Chemical World*, 2008(08): 470-473.

[16] GAO S, WANG G. Water-soluble food dye of Allura Red as a tracer to determine the spray deposition of pesticide on target crops[J]. *Pest Management Science*, 2019, 75(10): 2592-2597.

[17] 王明, 王希, 何玲, 等. 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[J]. *植物保护*, 2019, 45(1): 62-68.

WANG M, WANG X, HE L, et al. Deposition distribution of pesticide droplets over the tea canopy and control efficiency against *Empoasca flavesces* sprayed by unmanned aerial vehicle(UAV)[J]. *Plant Prot*, 2019, 45(1): 62-68.

[18] 何玲, 王国宾, 胡韬, 等. 喷雾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[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(6): 1046-1052.

HE L, WANG G B, HU T, et al. Influences of spray adjuvants and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle (UAV) spraying on rice[J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44(6): 1046-1052.

[19] 顾中言, 许小龙, 韩丽娟. 几种植物临界表面张力值的估测[J]. *现代农药*, 2002, 1(2): 18-20.

GU Z Y, XU X L, HAN L J. Study on the method of measure the critical surface tension of plants[J]. *Modern Agrochem*, 2002, 1(2): 18-20.

[20] NUYTTENS D, ZWERTVAEGHER I, DEKEYSER D, et al. Comparison between drift test bench results and other drift assessment techniques[J]. 2014, 122(2): 293-301.

[21] KLEIN R N, GOLUS J A, NELMS K L, et al. The effect of adjuvants, pesticide formulation, and spray nozzle tips on spray droplet size[J]. *J Astm Inter*, 2009, 6(6): 1-7.

[22] 韩鹏, 崔宗胤, 闫晓静, 等. 3 类喷雾助剂在植保无人飞机精准果树作业模式下对丘陵柑橘雾滴沉积分布影响 [J/OL]. *农药学报*. <https://doi.org/10.16801/j.issn.1008-7303.2020.0115>.

HAN P, CUI Z Y, YAN X J, et al. Three types of spray adjuvants on the distribution of fog droplet deposition in hilly citrus under unmanned aerial vehicles precision fruit tree operation mode [J/OL]. *Chin J Pestic Sci*. <https://doi.org/10.16801/j.issn.1008-7303.2020.0115>.

(责任编辑: 金淑惠)