

基于油敏纸显示特性的热雾剂溶剂试验

侯秀梅, 许林云, 戴彬虎, 林 欢, 韩 江, 黄雅杰

(南京林业大学 机械电子工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 热烟雾载药防治技术具有防效高、用药省、无需用水等显著优点, 但关于药液完全热力烟化后的雾滴沉积分布状态及悬浮停留时间却没有进行过系统研究。鉴于柴油在油敏纸上无法显示的现状, 理论分析热雾剂的组成及特性, 综合考虑溶解性、闪点、黏度、比热容、表面张力等因素, 选取 6 种不同溶剂进行油敏纸显性和热力烟化特性试验研究, 并以雾滴粒径和发烟量作为评价溶剂综合性能的指标。结果表明: 邻苯二甲酸二甲酯在油敏纸上显性较好、热力烟化效果较佳、在喷管内的热分解损失可忽略, 是一种性能良好的可供试验研究应用的热雾剂溶剂。图 2 表 2 参 15

关键词: 林业机械; 热雾剂; 溶剂; 脉冲烟雾机; 热力烟化; 油敏纸; 沉积分布

中图分类号: S776.28; S491 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)02-0308-05

Display characteristics on oil-sensitive paper for a hot fogging concentrate solvent

HOU Xiumei, XU Linyun, DAI Binhu, LIN Huan, HAN Jiang, HUANG Yajie

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Thermal fogging technology has important features such as high efficiency, low chemical usage, and no water consumption. To conduct a theoretical analysis on composition and properties of a hot fogging concentrate solvent and to improve deposition distribution and suspension residence time for droplets of pesticide after thermodynamic atomization, six kinds of solvents (dimethyl formamide, cyclohexanone, glycerol, dimethyl phthalate, soybean oil, and 0# diesel) were chosen based on solubility, flash point, viscosity, specific heat, and surface tension, for an experiment. Droplet size and the amount of smoke were used as indexes for a comprehensive performance evaluation of the solvents on oil-sensitive paper. Results showed that dimethyl phthalate was favorable as a hot fogging concentrate solvent with advantages of clear display characteristics, better thermodynamic atomization, and no thermal decomposition loss. [Ch, 2 fig. 2 tab. 15 ref.]

Key words: forest machinery; hot fogging concentrate; solvent; pulse-jet fogger; thermodynamically atomization; oil-sensitive paper; deposition distribution

热烟雾载药防治技术作为一种简单有效的防治方法, 具有防治效率高、成本低、超低容量、污染小、无需用水等显著特点, 较适用于交通不便、林木高大、水源缺乏的林区, 解决了一直困扰病虫害防治领域的高度、效率、水源等问题, 热烟雾机作为该技术的施药机具^[1], 也越来越多地在农林病虫害防治中被采用, 其所施放的热雾剂一般为油溶性药液, 是将农药原液与溶剂油以合适的比例相混合稀释制成, 溶剂油一般多为 0 号柴油, 是形成农药烟雾的载体, 其形成的农药烟雾滴沉降在植物和有害生物表面, 达到防治目的。农药雾滴在植物上的沉积量和分布规律与农药喷雾的施用效率和防治效果有着紧密

收稿日期: 2014-07-08; 修回日期: 2014-09-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD08B04); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 侯秀梅, 从事植物保护技术及装备研究。E-mail: houxm2014@sina.com。通信作者: 许林云, 教授, 博士, 从事植物保护技术及装备研究。E-mail: lyxu@njfu.com.cn

的联系，故对其进行研究十分重要^[2]。图像分析方法作为获取喷雾雾滴沉积状态参数的主要分析方法^[3]，操作简单，准确率高，主要用于水敏纸收集水基型农药雾滴，通过图像分析软件分析雾滴的覆盖率和雾滴密度^[4]；Salysnim 等^[5-6]利用水敏纸估测喷雾器喷雾质量，检测结果正确可靠；邱白晶等^[7]在温室内对常温烟雾机喷施的水雾滴沉积分布进行空间解析，工作效率高，消除了定量分析主观因素的影响；但现有的水敏纸只能对水基型药液雾滴显示，对油溶性药液雾滴完全不显示，无法应用于烟雾滴的测试研究。目前，针对油溶性雾滴的测试，国内外仅有瑞士 Syngenta 农作物保护公司生产出可以对某些油性液体雾滴显示的油敏纸 CF1，准确度及成本均较高。Aykas 等^[8]利用油敏纸研究大豆油卵磷脂含量、温度及电压对航空静电喷油雾滴粒径大小的影响，通过图像分析软件评价不同操作参数下油敏纸上的雾滴大小和沉积分布，操作简单；但初步试验表明，常用溶剂柴油在该油敏纸上无法显示，严重制约着烟雾滴沉积分布规律的研究，相关的针对以油敏纸对油溶性农药雾滴沉积及悬浮停留时间的测试几乎处于空白现状。因此，选取合适的可以在油敏纸上显示的热雾剂溶剂来代替柴油进行试验研究对烟雾滴沉积特性的评价具有重大意义。由于热雾剂需要与热烟雾机配合使用，故对其组分及性能有一定的要求，其中热雾剂溶剂作为合成活性组分的原料以及农药原液或其他制剂组分的稀释剂和载体，应满足溶解能力好，挥发性、闪点、黏度及表面张力适中，能形成稳定的乳状液或悬浮液，对植物无药害、环境安全等基本性能要求^[9]。目前，溶剂的选用范围包括醇、酮以及脂类等^[9-10]，种类很多，但是能同时满足油敏纸显示特性和热雾剂溶剂热力烟化特性要求的溶剂却比较少，相关资料十分匮乏，因此，本研究以 0 号柴油热力烟化特性为基准，选取不同类型的溶剂进行油敏纸显性和热力烟化特性试验研究，探寻可以代替 0 号柴油进行农药烟雾滴沉积试验研究的热雾剂溶剂，对中国烟雾载药技术的深入发展及应用具有重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

药械：选用南通广益机电有限责任公司生产的 6HYB-25B(W)型弯管式脉冲烟雾机，作为热力烟化热雾剂溶剂施放烟雾的设备。溶剂：二甲基甲酰胺、环己酮、丙三醇、邻苯二甲酸二甲酯、大豆油和 0 号柴油，特性参数^[11]参见表 1，其中 0 号柴油为对照试验。

表 1 溶剂特性参数
Table 1 Characteristic parameters of different solvents

溶剂	溶解性	挥发性	黏度/mPa·s	闪点/℃	比热容/(J·kg ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	相对密度/(g·cm ⁻³)	表面张力/(N·m ⁻¹)
二甲基甲酰胺	好	高	1.53	74	差	1 880	36.6×10 ⁻⁵
环己酮	好	高	2.20	43	低	1 810	34.5×10 ⁻⁵
丙三醇	好	低	945.00	160	50.09	2 460	63.3×10 ⁻⁵
邻苯二甲酸二甲酯	好	低	17.20	146	282	1 790	37.4×10 ⁻⁵
大豆油	差	低	50.09	282	1 924	1 924	25.0×10 ⁻⁵
0 号柴油	差	中等	2.52~8.00	57	0.924 0	2 100	30.6×10 ⁻⁵

1.2 试验方法

将不同溶剂分别加入 6HYB-25B(W)型弯管式脉冲烟雾机的药箱内，启动烟雾机至工作稳定后，进行喷施作业，待烟雾稳定后，进行测试^[12]。

采用德国新帕泰克有限公司的 HELOS/QUIXAL 型激光粒度仪及 WINDOX 软件操作 SUCCELL 系统对雾滴粒径进行测量，选取 x_{10} ， x_{50} ， x_{90} 作为分析评价溶剂烟化特性的参数，其分别表示雾滴累计分布为 10%，50%，90% 的雾滴直径，即小于此雾滴直径的雾滴体积占全部雾滴体积的 10%，50%，90%，其中 x_{50} 也称为雾滴体积中径(volume median diameter，简称 VMD)^[13]。

采用瑞士 Syngenta 农作物保护公司生产的油敏纸 CF1 对不同溶剂的显示特性进行试验。选用镍铬-镍硅热电偶，采用直接接触式测量方法对温度进行测量，将热电偶测量端分别放置于药喷嘴和喷管出口处，并通过温度显示仪显示温度值^[14]。

2 结果与分析

2.1 不同溶剂在油敏纸上的显示特性

不同溶剂经脉冲烟雾机热力烟化后, 烟雾滴在油敏纸上的沉积显示特性见图 1, 丙三醇和柴油在油敏纸上完全不显现; 大豆油在油敏纸上沉积后显示性能中等, 雾滴分界面模糊, 不能准确计算出雾滴粒径及其覆盖率; 二甲基甲酰胺、环己酮和邻苯二甲酸二甲酯在油敏纸上沉积后显示特性较好, 在烟雾滴极其细小或烟雾浓度较低的状态下, 也可较为清晰显示, 可保证较高的测试精度。

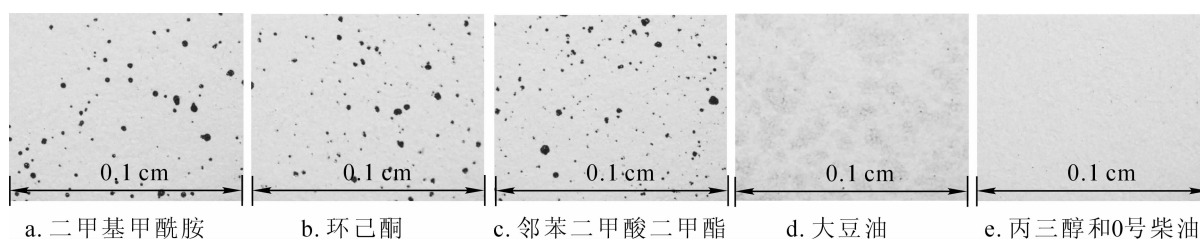


图 1 油敏纸对不同溶剂的显示特性研究

Figure 1 Display characteristic study for different solvents on oil-sensitive paper

2.2 不同溶剂烟化效果

热雾剂溶剂热力烟化时的烟雾滴粒径和发烟量作为重要指标, 可以较好地评价热雾剂溶剂的热力烟化效果, 各项指标如表 2 所示。

表 2 不同溶剂的烟化特性

Table 2 Atomization characteristic of different solvents

溶剂	参数/ μm			发烟量	植物药害
	x_{10}	x_{50}	x_{90}		
二甲基甲酰胺	2.52	9.03	17.71	小	低
环己酮	1.79	6.98	14.60	小	中等
丙三醇	0.79	3.43	7.64	大	低
邻苯二甲酸二甲酯	1.00	2.98	6.45	大	低
大豆油	4.31	9.42	14.08	中	低
0 号柴油	1.29	4.53	10.30	大	低

雾滴粒径及均匀性作为衡量溶剂热力烟化效果的参数, 是喷雾技术中最重要的指标, 雾滴越小, 雾滴数目就越多, 覆盖面积也越大且越均匀, 使其可以在空中长时间弥漫, 渗入到细小空隙并粘附在植株上, 实现较高的防治效率。本试验中 6 种溶剂热力烟化后, x_{50} 和 x_{90} 分别都在 $10.00 \mu\text{m}$ 和 $20.00 \mu\text{m}$ 以下, 符合烟化雾滴粒径小于 $30.00 \mu\text{m}$ 的要求, 可以较好地在空中扩散、弥漫及悬浮, 其中以邻苯二甲酸二甲酯的雾滴中径最小, 仅为 $6.45 \mu\text{m}$ 。

图 2 反应了 6 种溶剂热力烟化时发烟量的大小。根据表 2 中的特性参数对 6 种溶剂进行对比分析, 二甲基甲酰胺和环己酮黏度小、挥发性强、具有强烈地刺激气味、发烟量较小, 对动植物及环境均存在较大的危害。大豆油的特性参数虽基本满足热雾剂溶剂的要求, 但发烟量中等, 不能满足烟雾施药时发烟量的需求, 而且其对农药原液的溶解性能也较差。丙三醇虽然烟化特性好, 但黏度较大, 因此, 使用受限。0 号柴油和邻苯二甲酸二甲酯的特性参数值较为接近, 热力烟化特性均较好, 具有雾滴细小、发烟量大、药害作用较低等优点, 其中邻苯二甲酸二甲酯的溶解性比 0 号柴油好。

2.3 热雾剂有效成分热分解性能

通过油敏纸与不同溶剂显示特性和烟化效果试验分析可知, 在 6 种溶剂中, 仅有邻苯二甲酸二甲酯能同时满足热力烟化效果好和油敏纸显示特性好的要求。但是在获得细小雾滴的同时, 大多研究学者都对药液在喷管中与高温高速气流相遇是否发生有效成分热分解使药效降低存在顾虑。大量资料表明: 在热力烟化过程中, 从化学动力学角度考虑^[15], 在高温高速气流中化学反应的滞后时间为数毫秒至数十毫

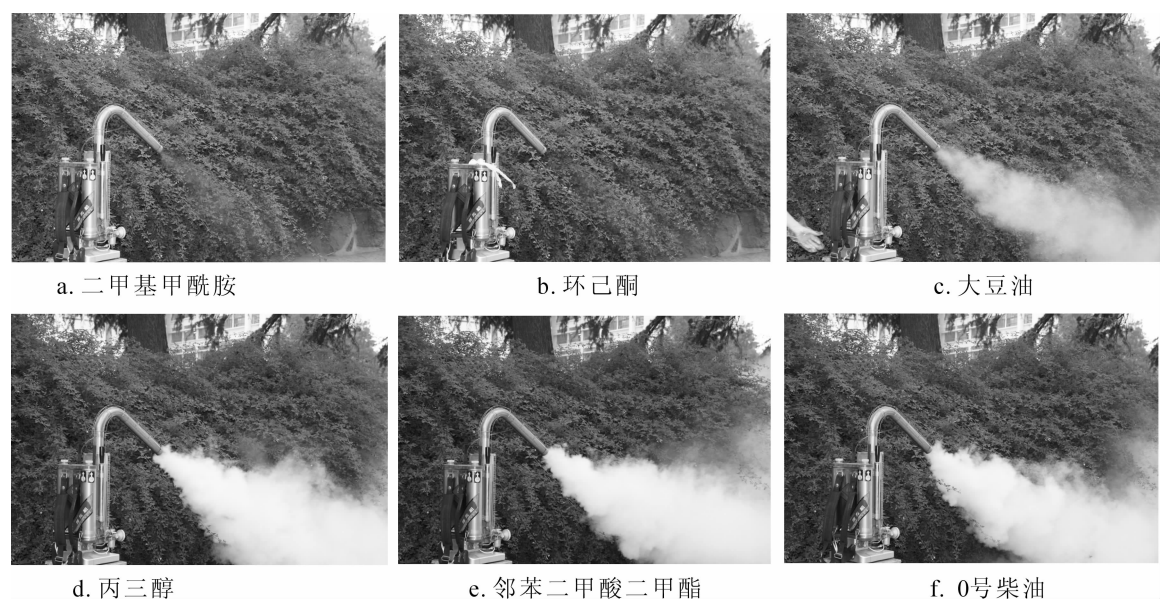


图 2 不同溶剂的发烟量

Figure 2 Amount of smoke for different solvents

秒，而烟雾机喷药时，热雾剂从高温过渡到低温的滞后时间仅为 0.3~0.4 ms，故烟雾机在喷药过程中，热雾剂受高温作用的时间极短。目前，0 号柴油作为最常用的热雾剂溶剂，在利用脉冲烟雾机将柴油热力烟化成细小烟雾进行病虫害防治时，防治效率极高，可达到 90% 以上，农药有效成分的热分解损失可以忽略不计。因此，以 0 号柴油为对比试验，可以较好分析以邻苯二甲酸二甲酯为农药烟雾载体时高温热气流对热雾剂有效成分热分解性能的影响。

6HYB-25B(W)型弯管式脉冲烟雾机在未喷药即空载状态下，药喷嘴处和喷管出口处的温度分别为 711 ℃和 425 ℃，可以为药液热力烟化提供较好的高温条件。0 号柴油热力烟化时，药喷嘴处和喷管出口处的温度分别为 626 ℃和 198 ℃；邻苯二甲酸二甲酯热力烟化时，药喷嘴处和喷管出口处的温度分别为 609 ℃和 187 ℃。因此，在相同时间内与 0 号柴油相比，以邻苯二甲酸二甲酯为热雾剂溶剂时喷管内温度稍低，故对热雾剂有效成分的热分解损失也可以忽略。

3 结论

烟雾滴在油敏纸上沉积显示特性：丙三醇和柴油在油敏纸上完全不显现；大豆油在油敏纸上显示性能中等，但界限模糊；二甲基甲酰胺、环己酮和邻苯二甲酸二甲酯在油敏纸上显示性能较好，而且在烟雾滴极其细小或浓度较低时也可清晰显示。6 种溶剂烟化效果：二甲基甲酰胺和环己酮发烟量较低，且药害作用大；大豆油发烟量中等，但溶解性能较差；丙三醇烟化性能好，但黏度较大；柴油和邻苯二甲酸二甲酯具有发烟量大、雾滴细小等优点。

热烟雾机在喷药过程中，喷管内的高温条件可以使邻苯二甲酸二甲酯热力烟化，形成载药烟雾；又热雾剂受高温作用的时间极短，热雾剂有效成分的分解损失影响可以忽略。

综合试验分析：邻苯二甲酸二甲酯的特性参数符合热雾剂溶剂的基本要求：溶解性好，挥发性低，闪点高，黏度、比热容和表面张力适中，而且热力烟化时具有雾滴细小、发烟量较大、在油敏纸上显示特性好等优点，较好满足了油敏纸对油性农药雾滴沉积特性及悬浮停留时间的测试要求，因此，可以选用邻苯二甲酸二甲酯替代柴油作为热雾剂溶剂进行农药烟雾滴沉积试验研究。

4 参考文献

[1] 王宇. 一种新式脉冲式烟雾机的研制及应用[D]. 海口：海南大学，2012.
WANG Yu. *The Development and Application of a New Smoke Machine* [D]. Haikou: Hainan University, 2012.

[2] 王穗，彭尔瑞，吴国星，等. 农药雾滴在作物上的沉积量 and 其分布规律的研究概述[J]. 云南农业大学学报，2010，25(1): 113 – 117.

- WANG Hui, PENG Errui, WU Guoxing, *et al.* Surveys of deposition and distribution pattern of pesticide droplets on crop leaves [J]. *J Yunnan Agric Univ*, 2010, **25**(1): 113 – 117.
- [3] 程志. 几种喷雾器械的雾滴沉积特性及其对麦蚜的田间药效评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
CHENG Zhi. *Droplet Deposition Characteristics and Field Efficacy Evaluation against Wheat Aphids of Several Spray Equipment* [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2013.
- [4] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 喷雾器及施药量对水稻冠层农药雾滴沉积特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, **46**(20): 4284 – 4292.
XU Dejin, GU Zhongyan, XU Guangchun, *et al.* Influence of sprayer and application rate on pesticide deposit character on rice canopy [J]. *Sci Agric Sin*, 2013, **46**(20): 4284 – 4292.
- [5] SALYANI M, FOX R D. Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive paper [J]. *Trans ASAE*, 1999, **42**(1): 37 – 43.
- [6] SALYANI M, BENSALEM E, WHYTNEY J D. Spray deposition and abscission efficacy of CMN-pyrazole of valencia orange [J]. *Trans ASAE*, 2002, **45**(2): 265 – 271.
- [7] 邱白晶, 张振磊, 汤伯敏, 等. 烟雾机雾滴沉积分布的空间解析[J]. 农业机械学报, 2010, **41**(4): 65 – 68.
QIU Baijing, ZHANG Zhenlei, TANG Bomin, *et al.* Spatial analysis of droplets deposition distribution [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2010, **41**(4): 65 – 68.
- [8] AYKAS D P, BARRINGER S. The effect of temperature, lecithin content and voltage on droplets /cm² during electrostatic spraying of oil [J]. *J Food Proc Preserv*, 2014, **38**(1): 484 – 492.
- [9] 刘步林. 农药剂型加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 464 – 473, 959 – 966.
- [10] 郭武棣. 液体制剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 165 – 171.
- [11] 程能林. 溶剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 10 – 35.
- [12] 周宏平, 许林云, 阮文就, 等. 脉冲喷雾机药喷嘴位置对药液雾化的影响研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2013, **19**(5): 380 – 382.
ZHOU Hongping, XU Linyun, RUAN Wenjiu, *et al.* Location of pesticide nozzle on atomizing effect for a pulse fogger [J]. *Chin J Hyg Insect Equipm*, 2013, **19**(5): 380 – 382.
- [13] 张慧春, Dorr Gary, 郑加强, 等. 扇形喷头雾滴粒径分布风洞试验[J]. 农业机械学报, 2012, **43**(6): 53 – 57.
ZHANG Huichun, Dorr Gary, ZHENG Jjiaqiang, *et al.* Wind tunnel experiment of influence on droplet size distribution of flat fan nozzles [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2012, **43**(6): 53 – 57.
- [14] 沈海涛. 脉动喷气式发动机数值模拟及试验研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
SHEN Haitao. *The Numerical Simulation and Experimental Research of Pulse Jet Engine* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [15] 韩德刚, 高盘良. 化学动力学基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1987: 63 – 100.