

# 喷雾荧光示踪剂回收率影响因素实验\*

袁雪<sup>1</sup> 王俊<sup>2</sup> 周舟<sup>3</sup> 冀荣华<sup>4</sup> 祁力钧<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083;  
3. 广州广船国际股份有限公司, 广州 510382; 4. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**【摘要】** 荧光剂作为喷雾实验常用的示踪剂,其回收率对实验结果的准确性至关重要。设计了荧光示踪剂回收率影响因素的实验方案,用若丹明 WT 和荧光素钠作为荧光示踪剂,分别在不同稀释液和洗取液、气象条件、遮盖率、采样时间和沉积载体上测试荧光示踪剂回收率的变化情况。结果表明,在单因素试验中,其他条件相同的情况下,若丹明 WT 在典型阴天的回收率较高;荧光示踪剂回收率随遮盖率增加而增加;随采样时间增加而降低;滤纸更适宜作为沉积载体。

**关键词:** 喷雾 荧光示踪剂 回收率 若丹明 WT 荧光素钠

**中图分类号:** S499 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0054-04

## Analysis on the Recovery Rate of Spraying of Fluorescent Tracers

Yuan Xue<sup>1</sup> Wang Jun<sup>2</sup> Zhou Zhou<sup>3</sup> Ji Ronghua<sup>4</sup> Qi Lijun<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

3. Guangzhou Shipyard International Company Limited, Guangzhou 510382, China

4. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

The fluorescent is usually used as tracers for spraying deposit analysis in pesticide application study. The recovery rate of the tracers is significant for a reasonable explanation of the spraying performance. Experimental scheme was designed in this work and fluorescent was used as tracers. The scheme comprised of a few spraying factors and different environmental conditions. Rhodamine WT and fluorescein sodium were used for the recovery rate tests and weather condition, shading rate, sampling times and sampler feathers were considered as constraints. The experiments shown, on the condition of the same shading rate, sampling times and samplers, recovery rate of Rohdamine WT was higher than fluorescein sodium. If sampling time was fixed with the same deposition carrier, the increase of shading rate would increase the recovery rate of fluorescent tracer. If shading rate and deposition carriers were kept same, the increase of sampling time would decrease the recovery rate of fluorescent tracers. On the condition of the same shading rate and sampling time, filter papers were more suitable deposition carrier comparing to silver papers.

**Key words** Spraying, Fluorescent tracer, Recovery rate, Rohdamine WT, Fluorescein sodium

### 引言

在常规喷雾实验中,用荧光物质代替农药进行

喷施实验,并通过荧光分析来测定荧光物质在靶标上的沉积分布,是一种经济、有效的方法<sup>[1-2]</sup>。

Koo 等用亚甲基蓝溶液注入不同浓度药液的喷

杆中测试其喷洒农药浓度的变化<sup>[3]</sup>；宋坚利等用 0.1% 的 BSF (brillant sulfo flavin) 水溶液测试喷杆前进速度对最佳雾流方向角的影响<sup>[4]</sup>；宋淑然等用示踪剂 Rhodamine-B 与水混合成质量分数 0.05% 的溶液测试风送式喷雾机变速喷雾雾滴在蒲桃树上某一区域的沉积量<sup>[5]</sup>。现在荧光物质已经应用于众多的科研实验中,其中荧光素钠应用更为广泛,主要是由于它具有能与水高度互溶、低成本、低毒等特点<sup>[6-9]</sup>。Ikeya T 等以荧光素钠为碱性条件下 HPLC 分析的示踪剂<sup>[10]</sup>。Macintyre-Allen 等用荧光示踪剂溶液施药来评价喷嘴类型、表面活性剂、施药量 3 个因素对洋葱内部病虫害的影响<sup>[11]</sup>。由于在自然条件下荧光物质也会受到环境因素的影响,使得测出的结果不准确。张宝棣等指出溶液的浓度,酸度,温度及重金属离子对荧光素钠的荧光强度均有影响<sup>[12]</sup>。李红军等指出温度、光照强度、溶液浓度均对荧光素钠的荧光强度产生影响<sup>[13]</sup>。

目前,科研工作者对荧光示踪剂的荧光强度影响因素进行了深入分析,却很少有人研究喷雾实验条件对荧光示踪剂回收率的影响。本文通过分析喷雾荧光示踪剂回收率的影响因素,为提高荧光分析在施药实验中的准确性提供理论依据。

## 1 实验和材料

影响荧光示踪剂回收率的主要因素有稀释液、

表 1 荧光示踪剂参数

Tab. 1 Parameters of fluorescent tracers

示踪剂	最大吸收 波长 $\lambda$ /nm	最大发射 波长 $\lambda$ /nm	荧光强度 /%	化学式	颜色指数	检测极限 / $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	吸附趋向	CAS 登记号	分子量
荧光素钠	492	513	100	$\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{O}_5$	酸黄 73	0.002	非常低	518-47-8	376.3
若丹明 WT	558	583	25	$\text{C}_{29}\text{H}_{29}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_5\text{Cl}$	酸红 388	0.006	中等	37299-86-8	567.0

### 1.2.3 雾滴沉积载体

选取滤纸、锡箔和绿铁片作为沉积载体。具体设置如表 2 所示。

表 2 沉积载体的设置

Tab. 2 Setting of deposition carrier

序号	载体	形状	规格/cm
1	锡箔	长方形	2.5 × 8
2	滤纸	圆形	$\phi 7$
3	绿铁片	长方形	2.5 × 8

### 1.2.4 实验仪器

用 KANOMAX CLIMOMASTER Model A531 型环境测试仪测量环境温度和相对湿度;用 LX1330B 型光照强度测量仪测量光照强度;Turner Designs 公司生产的 Trilogy 分光光度仪测定实验样品的浓度

气象条件和沉积载体。本文在模拟实验环境中通过设置不同的实验条件进行测定。沉积载体分别选择锡箔、绿铁片和滤纸;稀释液选择蒸馏水和自来水,对各因素影响下荧光示踪剂回收率进行实验。

### 1.1 实验环境

在户外场地并排排列 6 个支架,每个支架高 2 m,分 4 层,层间距为 0.5 m,以保证各层互不影响。其中 1 ~ 5 号支架分别用遮阳率为 87%、74%、52%、48% 和 36% 的遮阳网覆盖,6 号架不覆盖,以模拟实验中不同的光照环境。将实验样本置于各支架上。实验采样方案如图 1 所示。

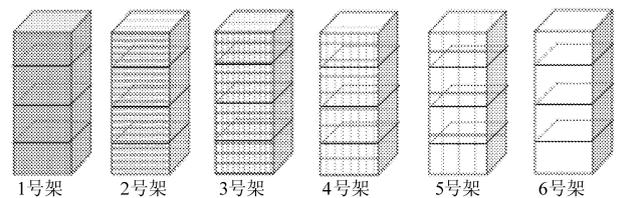


图 1 实验采样方案

Fig. 1 Sample scheme of the experiments

### 1.2 实验材料

#### 1.2.1 荧光示踪剂

选用荧光素钠、若丹明 WT 作为荧光示踪剂。具体参数如表 1 所示。

#### 1.2.2 稀释液和洗取液

选用蒸馏水和 pH 值为 7.73 的自来水(选自北京小汤山国家精准农业示范基地)为稀释液和洗取液。

值。

### 1.3 实验方法

实验在北京市精准农业示范基地进行,每个实验重复进行 3 次。实验步骤如下:

(1) 配制原液。2 种荧光示踪剂分别以蒸馏水和自来水作为溶剂进行配制,其中荧光素钠的溶液质量浓度为 0.02 g/L,若丹明 WT 的溶液质量浓度为 0.1 g/L。

(2) 选择气象条件。选取 2008 年 8 月的几个典型晴天和阴天进行实验,气象条件如表 3 所示。

(3) 确定沉积载体的沉积量。实验根据 3 种沉积载体的面积和直接注入式喷雾机单位面积的喷洒量(通常喷洒量为 2.25  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ ),确定不同沉积载体的沉积量分别为:绿铁片 45.0  $\mu\text{L}/\text{片}$ 、锡箔

表3 气象条件  
Tab.3 Weather condition

气象类型	8:00 ~ 10:00			16:00 ~ 18:00		
	温度/℃	相对湿度/%	照度/klx	温度/℃	相对湿度/%	照度/klx
典型晴天	26.7 ~ 32.6	65.2 ~ 81.6	39.6 ~ 56.5	28.2 ~ 34.1	49.7 ~ 66.8	4.9 ~ 46.2
典型阴天	25.9 ~ 29.8	70.1 ~ 85.4	11.5 ~ 30.5	26.5 ~ 30.9	59.7 ~ 73.6	2.1 ~ 14.0

45.0 μL/片和滤纸 86.6 μL/片。

(4) 确定洗取液量。根据回收溶液参考质量浓度和各沉积载体的沉积量确定各载体的洗取液量分别为:绿铁片 50.0 mL/片、锡箔 50.0 mL/片和滤纸 96.3 mL/片。

(5) 计算雾滴回收率。不同气象条件下沉积于不同载体的雾滴回收率计算公式为

$$R = \frac{C_w}{C_s} \times 100\%$$

式中  $C_w$ ——洗取溶液的质量浓度

$C_s$ ——回收溶液参考质量浓度

洗取溶液的质量浓度为原液量在洗取液中的质量浓度。其中喷洒在各载体上的原液量与洗取液量

的比值要与标准原液量和标准洗取液量的比值相等;而回收溶液参考质量浓度为标准量的原液直接滴入标准液的洗取液中所得溶液的质量浓度。在本实验中标准原液量均为 45 μL,标准洗取液量均为 50 mL。

(6) 测量洗取液质量浓度。

## 2 分析与讨论

### 2.1 稀释液和洗取液

表4中列出了在典型晴天、无遮盖情况下利用两种不同稀释液和洗取液测量的荧光示踪剂回收率。

可以看出,在试验条件(沉积载体,荧光示踪剂和采样时间)相同的情况下,分别应用蒸馏水和自

表4 荧光示踪剂的回收率  
Tab.4 Recovery rate of fluorescent tracers

溶剂	沉积载体	荧光素钠采样时间/min						若丹明 WT 采样时间/min						%
		10	20	40	60	90	120	10	20	40	60	90	120	
蒸馏水	绿铁片	99.30	95.90	79.12	72.60	66.15	60.50	99.02	96.15	82.72	74.12	68.36	72.38	
	锡箔	98.98	96.55	85.20	78.52	69.60	58.51	98.78	97.08	90.30	78.05	72.55	68.00	
	滤纸	97.49	95.21	76.95	70.35	56.02	50.96	98.21	97.10	82.36	78.90	70.12	61.32	
自来水	绿铁片	99.21	95.85	79.16	71.73	68.10	66.48	99.05	96.15	82.70	74.08	68.25	73.36	
	锡箔	98.85	96.52	84.68	76.54	65.59	56.50	98.76	97.15	93.25	77.81	72.35	67.99	
	滤纸	97.48	95.32	75.96	69.32	56.00	50.94	98.18	97.02	81.83	76.91	70.21	61.35	

来水作为稀释液和洗取液的溶剂时,两种荧光示踪剂的回收率几乎一致。因此,在施药实验时,可以考虑用自来水代替蒸馏水作为稀释液和洗取液的溶剂。

### 2.2 气象条件

在不同荧光示踪剂,采样时间和遮盖率的条件下,测定典型晴天和典型阴天2种不同气象条件下的荧光示踪剂回收率,如图2所示。每个实验重复3次,实验结果为3次实验的平均值。

图2a为典型晴天,载体为滤纸,遮盖率为0%时,在不同的采样时间测得荧光示踪剂回收率的变化情况。图2b为在典型阴天,载体为滤纸,遮盖率为74%时,随采样时间增加,荧光示踪剂回收率的变化情况。对比图2a和图2b可以发现:随着采样时间增加,典型晴天的荧光示踪剂回收率较典型阴

天的荧光示踪剂回收率下降趋势更加明显。采样时间小于40 min时,典型阴天的荧光示踪剂回收率变化不大;遮盖率为74%的典型阴天下的荧光示踪剂回收率高于遮盖率为0%的典型晴天下荧光示踪剂回收率。综上所述,说明气象条件和遮盖率是荧光示踪剂回收率的影响因素,实验时应优先选择阴天和高遮盖率作为实验条件。分析其原因可能是随着采样时间的增加,荧光示踪剂溶液会在空气中光解和蒸发,导致荧光示踪剂在载体上的沉积量减少,从而影响实验结果。

图2c为在典型晴天和阴天,采样时间为20 min时,随遮盖率增大荧光素示踪剂回收率的变化情况。图2d为典型阴天的情况下,载体为滤纸,采样时间为40 min时,随遮盖率不同荧光示踪剂回收率的变化情况。对比图2c和图2d可以发现:气象条件对

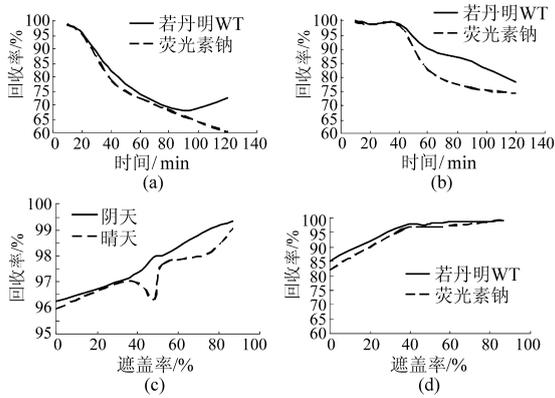


图 2 不同气象条件下荧光示踪剂的回收率

Fig. 2 Recovery rate of fluorescent tracers under different weather conditions

(a) 典型晴天, 滤纸载体, 遮盖率 0% (b) 典型阴天, 滤纸载体, 遮盖率 74% (c) 典型晴天和阴天, 采样 20 min (d) 典型阴天, 滤纸载体, 采样 40 min

实验影响较大, 在遮盖率相同的条件下, 典型阴天若丹明 WT 溶液回收率明显大于典型晴天时的回收率, 若丹明 WT 溶液的回收率略高于荧光素钠溶液的回收率。随遮盖率的增大, 荧光示踪剂的回收率不断增大, 特别当遮盖率从 0% 增至 48% 左右时, 荧光示踪剂的回收率增加趋势明显。综上所述, 说明利用荧光示踪剂进行实验时, 需要考虑气象条件对实验的影响, 并且尽量避免在光照条件下进行实验; 对比荧光素钠, 若丹明 WT 更适合作为荧光示踪剂。分析其原因主要是荧光示踪剂溶液发生光解, 此实验进一步验证了图 2a 和图 2b 的结论, 说明气象条件是影响荧光示踪剂回收率的重要因素。

### 2.3 沉积载体

表 5 为在典型晴天, 采样时间为 10 min, 遮盖率为 0% 时, 在不同沉积载体上荧光示踪剂回收率的变化情况。由表可知, 滤纸的回收率最高, 绿铁片

的回收率最低。同时在重复实验中, 滤纸和锡箔的实验结果变化较小, 而绿铁片结果波动较大。载体的选择对实验结果会产生较大影响, 其原因可能是载体本身的属性决定的, 滤纸和锡箔作为载体, 受外界干扰因素较小, 而绿铁片受外界干扰因素较大。在实验过程中, 绿铁片上的荧光示踪剂易损失, 所以实验结果波动较大。因此, 应优先选择滤纸作为施药实验的沉积载体。

表 5 不同沉积载体对荧光示踪剂的回收率的影响

Tab. 5 Effect of different deposition carriers on tracer recovery rate %

示踪剂	沉积载体		
	滤纸	锡箔	绿铁片
荧光素钠	99.16	98.77	97.28
若丹明 WT	99.12	98.60	95.08

### 3 结论

(1) 荧光素钠和若丹明 WT 均适合代替农药进行施药实验, 但相对来说若丹明 WT 受外界条件的影响较小。

(2) 利用接近于中性的自来水作为稀释液和洗液, 不会对施药实验结果造成影响。

(3) 由于荧光示踪剂在光照条件下易分解, 在利用荧光示踪剂进行施药实验时, 阴天较晴天更为合适。同时随着采样时间增加, 荧光示踪剂受外界影响加大, 所以采样时间间隔不宜太长, 最好小于 20 min。

(4) 滤纸和锡箔较适合作为荧光示踪剂的沉积载体。由于采样时间的限制, 锡箔上的雾滴在短时间内不易晾干, 影响实验效率, 滤纸可作为沉积载体的首选。

### 参 考 文 献

- Cayley G R, Griffiths D C, Hulme P J, et al. Tracer techniques for the comparison of sprayer performance [J]. *Crop Protection*, 1987, 6(2): 123 ~ 129.
- 刘淑芳, 陈致国, 金崇君, 等. 荧光猝灭效应的温度特性研究 [J]. *黑龙江商学院学报*, 1997, 13(1): 46 ~ 49. Liu Shufang, Chen Zhiguo, Jin Chongjun, et al. The study of temperature characteristic of quenching of fluorescence [J]. *Journal of Helongjiang Institute of Commerce*, 1997, 13(1): 46 ~ 49. (in Chinese)
- Koo Y M, Young S C, Kuhlman D K. Flow characteristics of injected concentrates in spray booms [C] // ASAE Paper No. 87-1602, 1987.
- 宋坚利, 何雄奎, 杨雪玲. 喷杆式喷雾机雾流方向角对药液沉积影响的试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22(6): 96 ~ 99. Song Jianli, He Xiongkui, Yang Xueling. Influence of nozzle orientation on spray deposits [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(6): 96 ~ 99. (in Chinese)
- 宋淑然, 洪添胜, 孙道宗, 等. 风送式喷雾机变速喷雾雾滴沉积试验 [J]. *农机化研究*, 2009, 31(1): 166 ~ 169. Song Shuran, Hong Tiansheng, Sun Daozong, et al. Droplet deposition in variable-speed spraying experiment of air blast sprayer [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, 31(1): 166 ~ 169. (in Chinese)

502 r/min 时不需要入土或入土 0 ~ 10 mm, 拔净率就能达到 97.7%, 且整机流程通畅, 工作平稳, 作业效果较为理想。

## 4 结论

(1) 设计了一种具有整理棉秆和分离泥土功能

的不对行拔取收获台, 各项性能指标均达到任务书要求。

(2) 不对行拔取收获台挂接到棉秆收割机主机上流程通畅、工作平稳。拔茎辊转速在 502 r/min, 前进速度为 0.93 m/s 时, 生产率为 0.8 hm<sup>2</sup>/h, 拔净率为 97.7%, 作业效果较为理想。

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家统计局. 2007 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- 2 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 903 ~ 906, 1 051.
- 3 贾健. 拔棉柴机的设计研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(3): 268 ~ 269, 274.  
Jia Jian. Design on machines of dialing cotton stem[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(3): 268 ~ 269, 274. (in Chinese)
- 4 赵东波. 棉花拔秆清膜旋耕机研究设计[J]. 新疆农机化, 2004(4): 34 ~ 35.
- 5 艾力哈斯木, 张学军. 棉柴收获机起拔滚筒运动及性能分析[J]. 新疆农机化, 2009(4): 14 ~ 15.
- 6 王锋德, 陈志, 董世平, 等. 自走式棉秆联合收获机设计及试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 67 ~ 70.  
Wang Fengde, Chen Zhi, Dong Shiping, et al. Exploiture and experiment of self-walking cotton-stalk combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 67 ~ 70. (in Chinese)
- 7 花俊国. 浮压双链夹持式拔棉秆机的研究[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(5): 549 ~ 552.  
Hua Junguo. Study on floating double-chain tongs cotton-stalk puller[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2006, 40(5): 549 ~ 552. (in Chinese)
- 8 成大先. 机械设计手册: 第 4 卷[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 1994.

(上接第 57 页)

- 6 Smart P L, Laidlaw I M S. Evaluation of some fluorescent dyes for water tracing[J]. Water Resources Research, 1977, 13(1): 15 ~ 33.
- 7 Pouliquen H, Algoet M, Buchet V, et al. Acute toxicity of fluorescein to turbot (*scophthalmus maximus*) [J]. Veterinary and Human Toxicology, 1995, 37(6): 527 ~ 529.
- 8 Wang H, Lu L, Zhu S, et al. The phototoxicity of xanthene derivatives against *Escherichia coli*, *staphylococcus aureus*, and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Current Microbiology, 2006, 52(1): 1 ~ 5.
- 9 Carré J, Joyeux M, Montiel A. Health risks associated with fluorescent tracers used in hydrology [J]. Environnement, Risques et Sante, 2007, 6(6): 443 ~ 452.
- 10 Ikeya T, Horimoto N, Kashino Y. A practical method for sensitive determination of the fluorescent water-tracer uranine by reversed phase HPLC under alkaline conditions [J]. Talanta, 2009, 79(3): 818 ~ 823.
- 11 Macintyre-Allen J K, Tolman J H, Scott-Dupree C D, et al. Confirmation by fluorescent tracer of coverage of onion leaves for control of onion thrips using selected nozzles, surfactants and spray volumes [J]. Crop Protection, 2007, 26(11): 1 625 ~ 1 633.
- 12 张宝棣, 王继波, 刘玉兰, 等. 荧光素钠注射液荧光猝灭的研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 1994, 14(3): 105 ~ 110.  
Zhang Baodi, Wang Jibo, Liu Yulan, et al. A study of the fluorescence quenching of sodium fluorescein injecta [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1994, 14(3): 105 ~ 110. (in Chinese)
- 13 李红军, 何雄奎, 曾爱军, 等. 环境因素对荧光素钠溶液荧光强度的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(1): 49 ~ 51, 63.  
Li Hongjun, He Xiongkui, Zeng Aijun, et al. Effect of environment on fluorescence analysis of fluorescein sodium [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(1): 49 ~ 51, 63. (in Chinese)
- 14 祁力钧, 赵亚青, 王俊, 等. 基于 CFD 的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 62 ~ 67.  
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 62 ~ 67. (in Chinese)