

药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究

S481.9

袁会珠 齐淑华 ✓ 杨代斌

(中国农业科学院植物保护研究所,农业部农药化学及农药使用技术重点实验室,北京 100094)

摘 要 用微量称重法可以方便地测定作物叶片的流失点(POR)和最大稳定持留量(R_m),用浸渍法和喷雾法测定的 R_m 结果不同。引用润湿方程的概念来分析影响 R_m 的规律,浸渍法测定的 R_m 与粘附张力有关,当接触角大于 90° ,叶片表面不粘附液体, R_m 趋于零。用喷雾法测定作物叶片 R_m ,结果显示与药液的粘附功 $[\gamma \times (\cos\theta + 1)]$ 有关,即使接触角大于 90° 时,由于粘附功大于零, R_m 值也大于零。对于水稻这样难润湿的作物叶片,清水中添加表面活性剂可以提高 R_m ;反之,对于棉花、黄瓜这样的作物叶片,添加表面活性剂反而会降低 R_m 。

关键词 流失点; 最大稳定持留量 R_m ; 粘附张力; 粘附功 作物叶片 农药喷雾

农药田间喷雾是我国病虫草害防治中的重要技术措施,每年都有数以亿吨计的药液喷洒到农田中。由于我国对农药使用技术原理研究不够,植保机械单一,农药使用技术落后,大部分地区仍主要采用大雾滴、大容量喷雾方法喷洒农药,习惯于看到药液从作物叶片发生滴滴才放心。这种大雾滴、大容量方法使得农药有效利用率低,药液流失严重,不仅浪费大量农药,还严重污染了环境。

作物叶面所能承载的药液量有一个饱和点,超过这一点,就会发生药液自动流失现象,这一点称为流失点(Point of run-off)^[1,2]。发生流失后,药液在植物叶面达到最大稳定持留量(Maximum retention)^[2]。在常规大容量喷雾法中如果能很好地研究并控制喷雾量在流失点以下,就可能大大降低农药的流失量。植物叶片上药液流失与喷雾方法、雾滴大小、药液特性等因子有关,用浸渍法测定液体在作物叶片流失点时的药剂沉积量,并以此表示对叶片的润湿能力,发现大豆、豇豆等叶片上的流失点在 $0.6 \sim 1.1 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$ 范围内^[3];Cunningham^[4]在室内采用浸沾法、粗喷雾法($200 \mu\text{m}$)和细喷雾法($100 \mu\text{m}$)3种方法测定相同柑橘叶片上的流失点,结果分别是 $0.98, 2.02, 2.68 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$,说明采用粗喷雾法比细喷雾法更容易发生流失,根据流失点和叶面积系数估算出柑橘树最大施药液量应为 $2300 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在 $600 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施药液量条件下,添加助剂 Triton X-100 降低药液表面张力增加了药液的流失,同时降低了药液在蚕豆和芥菜叶片上的沉积量^[5];降低水溶液的表面张力,可以提高药液在水稻叶片的最大稳定持留量,但却会降低在棉花、黄瓜叶片上的最大稳定持留量^[1]。在对果树、葡萄等作物喷雾时,药液流失点是以单位株冠层体积(UCR)为单位测定的,例如鳄梨树的流失点为 $7.5 \text{ L} \cdot \text{UCR}$ ^[6]。由于发达国家很少采用大容量喷雾法,药液流失现象较轻,而国内在这方面的研究工作又很少,因而对流失点和最大稳定持留量的认识还不够,常常把两个概念混淆。有关影响药液在叶片最大稳定持留量因素的研究更少见报道。作者用微量称重法测定了液体在作物叶片上的流失点和最大稳定持留量,初步研究了影响作物叶片最大稳定持留量的理化因子。

通信联系人:袁会珠,男,博士;电话:010-62815941,E-mail:sygs@public.east.cn.net

国家自然科学基金(No. 39870498)资助项目

1 材料与方法

1.1 试验材料

Erma 接触角测定仪(Tokyo 公司产品);HP 微量注射器;LI-3000 叶面积测定仪(LI-COR 公司产品);Krüss 表面张力仪;FA2004 分析天平(0.0001 g)(上海分析天平厂);十二烷基苯磺酸钠(ABS);仲-辛基酚聚氧乙基醚(磷辛 10 号, TX-10);温室种植的黄瓜、番茄、小麦、水稻、棉花等作物叶片和人工石蜡表面。

1.2 药液在作物叶片上的流失点和最大稳定持留量测定

1.2.1 喷雾法 自制 0°、30°、60°、90°载物台,用两面胶把小麦叶片粘在载物台上,载物台通过连接杆与分析天平托盘相连,用玻璃管把连接杆与喷雾器喷出的雾滴隔开,避免雾滴沉积在载物台、连接杆和天平内,确保电子天平读数准确反映沉积在小麦叶片上的雾滴重量。叶片布放好后,用手动喷雾器开始喷雾,直到药液从叶片滴滴,记录雾滴沉积过程中电子天平的最大读数(即流失点);停止喷雾,等到药液不再从叶片流淌(天平显示数字稳定),记录天平读数,为最大稳定持留量。测定叶片面积,计算叶片的流失点 POR 和最大稳定持留量 R_m 。

$$\text{流失点 } POR(\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{\text{天平最大读数}(g) \times 1\,000}{\text{叶片面积}(\text{cm}^2)}$$

$$\text{最大稳定持留量 } R_m(\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{\text{停止滴滴后天平读数}(g) \times 1\,000}{\text{叶片面积}(\text{cm}^2)}$$

1.2.2 浸渍法 剪取植物叶片,用天平称重(W_0, g),而后用镊子夹持垂直放入清水中 3~5 s,迅速把叶片拉出水面,垂直悬置,待其不再有液滴流淌时称重(W_1, g),测定叶片面积,计算叶片的最大稳定持留量 $R_m(\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2})$ 。

$$\text{最大稳定持留量 } R_m(\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{(W_1 - W_0) \times 1\,000}{\text{叶片面积}(\text{cm}^2)}$$

1.3 表面张力和液体在作物叶片接触角测定

用清水配制阴离子表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(ABS)的水溶液,浓度分别为 0、0.001%、0.005%、0.01%、0.03%、0.05%和 0.1%,室温下测定其表面张力(γ),重复 3 次。

室温下测定不同表面活性剂水溶液在黄瓜、水稻、棉花、番茄等作物叶片上的接触角。从温室采集新鲜的作物叶片,清水洗净,选取平整部分剪取小块叶面(避开叶脉、病斑)平放在接触角仪的样品槽内,用微量注射器点滴 5 μL 大小液滴于叶面上,20 s 后观察其接触角,重复 20 次。计算接触角的平均值,根据润湿方程^[7]计算不同药液在不同作物叶片上的粘附张力(β)和粘附功(W_a)。

$$\beta = \gamma \times \cos\theta \quad W_a = \gamma \times (\cos\theta + 1)$$

1.4 作物叶片最大稳定持留量与药液理化性质的关系

分别用浸渍法和喷雾法测定清水在石蜡及水稻、小麦、甘蓝、棉花、黄瓜叶片等 14 种表面上的 R_m ,对不同表面的 R_m 与粘附张力、粘附功进行回归分析,计算 R_m 与粘附张力、粘附功的关系。

配制不同浓度的 ABS 水溶液,测定其表面张力及在作物叶片上的接触角,计算粘附张力和粘附功。用喷雾法测定其在水稻、黄瓜和棉花叶片上的最大稳定持留量,分析表面张力、接触角与 R_m 的关系。

2 结果与分析

2.1 作物叶片在喷雾过程中的流失点和最大稳定持留量

喷雾过程中,作物叶片对药液的持留能力是有一限度的,超过这一限度,就会发生药液流失现象。用自制微量称重装置,采用清水和添加不同浓度的磷辛 10 号表面活性剂水溶液进行喷雾试验,动态记录小麦叶片在不同倾角下对液体的持留量,计算流失点(POR)和最大稳定持留量 R_m ,结果见图 1 和图 2。一般认为用浸渍法或喷雾法测定叶片不发生滴淌时的持留量为药液流失点^[4,6],微量称重动态记录结果显示,药液从叶片发生流失后,最大稳定持留量 R_m 与流失点(POR)数值相差很大,因此流失点与最大稳定持留量是两个不同的概念,数值上也有很大差异。

农药田间喷雾时,加大施药液量不但不会增加沉积持留,由于药液流失,反而会降低药剂沉积量。因此,研究作物叶片的流失点和 R_m 对于指导农药田间喷雾、避免药液流失有其现实意义。

表面活性剂(磷辛 10 号)的浓度对 POR 和 R_m 有一定影响,磷辛 10 号浓度过高,液体表面张力和接触角就小,液滴在小麦叶片上就容易扩散、聚并而发生流失;叶片倾角(叶片与水平面之间的夹角)对流失也有影响,叶面倾角小,沉积在叶面上的液滴发生滚动和流淌的作用小, POR 和 R_m 就大;反之, POR 和 R_m 就小(图 2)。

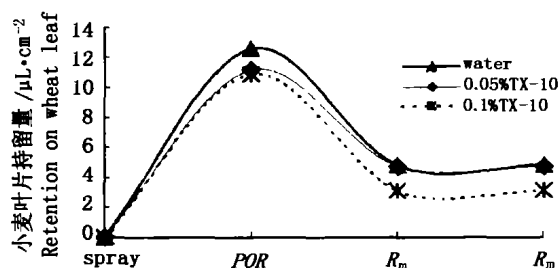


图 1 液体在小麦叶片上的
流失点和最大稳定持留量

Fig.1 POR and R_m of different
TX-10 concentrations on wheat leaf

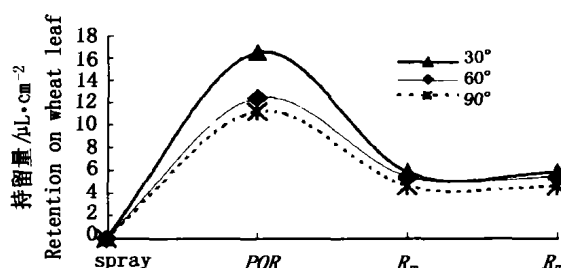


图 2 不同倾角小麦叶片上的
流失点和最大稳定持留量

Fig.2 POR and R_m on wheat
leaf with different angles ($^{\circ}$) of leaf

2.2 影响最大稳定持留量 R_m 的理化参数分析

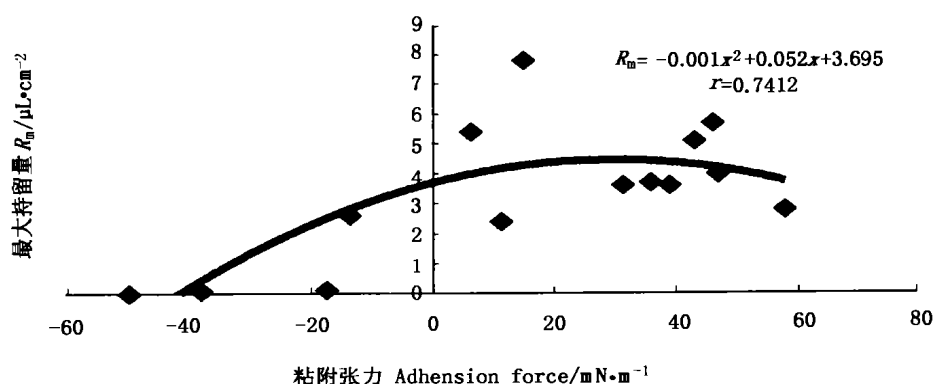
用浸渍法和喷雾法两种方法测定清水在不同表面的 R_m ,结果见表 1,显示不同表面的 R_m 不同。对于水稻、小麦叶片和石蜡表面,清水的接触角均大于 90° ,粘附张力为负值,浸渍过程中不发生浸湿,用浸渍法测定的叶片 R_m 只有 0.00 、 0.08 、 $0.12 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$;水在甘蓝叶片上的接触角为 101° , R_m 却高达 $2.6 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$,这主要是因为甘蓝叶片表面宽大且凹凸不平,能“储存”液体,这表明用接触角 θ 不能完全说明 R_m ,还要与叶片表面结构相联系。对表 1 中用浸渍法测定的清水在不同叶片上的 R_m 与粘附张力(β)的关系进行回归分析,结果见图 3,粘附张力为负值时, R_m 很小,甚至为零,说明清水在水稻、小麦叶片表面和石蜡表面不能浸润;随着粘附张力的增加, R_m 数值增加,说明水容易在黄瓜、棉花、番茄等作物叶片上粘附、润湿;随着粘附

张力的增加,例如玉米为 $57.8 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$,清水在玉米叶面的 R_m 反而下降到 $2.8 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$,说明若粘附张力过大,液体在叶片表面反而容易发生流失。

表 1 粘附张力、粘附功与叶片的最大稳定持留量

Table 1 The relationship among adhesion force, adhesion work and the R_m

材料 Materials	表面特性 Characteristic of surface	最大稳定持留量 $R_m/\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$ (浸渍法) (Immersion)	清水在表面上的参数 Parameters of water on leaf surface			最大稳定持留量 $R_m/\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$ (喷雾法) (Spray)
			接触角 Contact angle	粘附张力 β	粘附功 W_a	
				$\gamma \times \cos\theta$	$\gamma \times (\cos\theta + 1)$	
石蜡 Paraffin	蜡质	0.12 ± 0.07	104°	-17.3	54.2	5.7 ± 1.7
水稻 Paddy rice	蜡质	0.00	134°	-49.7	21.8	1.2 ± 0.2
小麦 Winter wheat	蜡质	0.08 ± 0.01	122°	-37.9	33.6	4.5 ± 0.3
甘蓝 Wild cabbage	粉状蜡质	2.6 ± 0.8	101°	-13.6	57.9	1.8 ± 0.6
黄瓜 Cucumber	叶面被刺	5.4 ± 1.1	85°	6.2	77.7	4.3 ± 0.7
黄杨 Chinese littleleaf box	叶革质	2.4 ± 0.7	81°	11.2	82.7	8.4 ± 1.8
番茄 Tomato	叶被软毛	7.8 ± 1.6	78°	14.9	86.4	5.5 ± 1.1
棉花 Cotton	叶平展	3.6 ± 0.9	64°	31.3	102.8	6.1 ± 1.7
爬山虎 Boston ivy	叶缘齿状	3.7 ± 1.1	60°	35.8	107.3	5.3 ± 1.3
莴笋 Lettuce	叶面皱缩	3.6 ± 4.2	57°	38.9	110.4	4.9 ± 0.7
小白菜 Pakchoi	叶少蜡质	5.1 ± 3.4	53°	43.0	114.5	1.6 ± 0.8
大豆 Soybean	叶被茸毛	5.7 ± 1.2	50°	46.0	117.9	4.7 ± 1.6
油菜 Rape	叶片宽大	4.0 ± 0.8	49°	46.9	118.4	6.2 ± 1.6
玉米 Maize	叶片平展	2.8 ± 0.7	36°	57.8	129.3	3.6 ± 0.7

图 3 清水在不同作物叶面 R_m 与其粘附张力的关系(浸渍法)Fig. 3 Relation between R_m and adhesion force of water on different leaves(Immersion)

利用喷雾法测定清水在不同叶片表面上的 R_m ,其与粘附功(W_a)的关系见图 4。回归分析 W_a 与 R_m 的关系,直线回归、对数回归等方法的相关系数都小于 0.50,只有多项式回归的相关系数为 0.55。图 4 结果说明,粘附功等于 $81 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时, R_m 有极大值。因而在粘附功小于 $81 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 条件下,随着粘附功的增加,农药雾滴与叶片粘附越牢, R_m 也相应增加;当粘附功大于 $81 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 时,对于大豆、莴苣和小白菜等表面结构丰富的叶片,随着粘附功的增加, R_m

也相应增加,对于棉花、玉米、油菜等表面平展的叶片,随着粘附功的增加, R_m 却减小,这说明除了粘附功外,叶面的结构特征对于雾滴的持留也有很大影响。

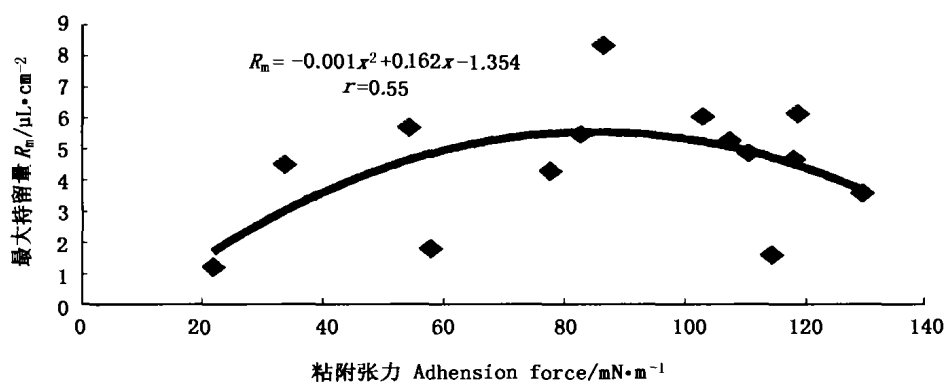


图 4 清水在不同作物叶面的 R_m 与其粘附功的关系(喷雾法)

Fig. 4 Relationship between R_m and adhesion work of water on different leaves (Spray)

利用浸渍法和喷雾法测定液体在作物叶片的 R_m 与液体表面张力和接触角的回归方程分别见公式(1)和公式(2):

$$R_m = 0.052 \times (\gamma \times \cos\theta) - 0.001 \times (\gamma \times \cos\theta)^2 + 3.695 \quad \text{..... (1)}$$

$$R_m = 0.162 \times [\gamma \times (\cos\theta + 1)] - 0.001 \times [\gamma \times (\cos\theta + 1)]^2 - 1.354 \quad \text{..... (2)}$$

2.3 表面活性剂对于作物叶面 R_m 的影响

配制不同浓度的 ABS 水溶液,用喷雾法测定其在水稻、棉花和黄瓜叶片上的最大稳定持留量,结果见图 5。对于难润湿叶片(水稻),增加 ABS 浓度到 0.05%,可以把接触角从 134° 降低到 48° ,粘附功由 $21.8 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ 增加到 $49.6 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$,由公式(2)计算,此时 R_m 也应减少,实际结果减少到了 $2.0 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$,这说明降低药液粘附功可以减少其在叶片上的 R_m ,表明此时容易发生流失。实际试验测定结果与公式(2)预测的结论一致。

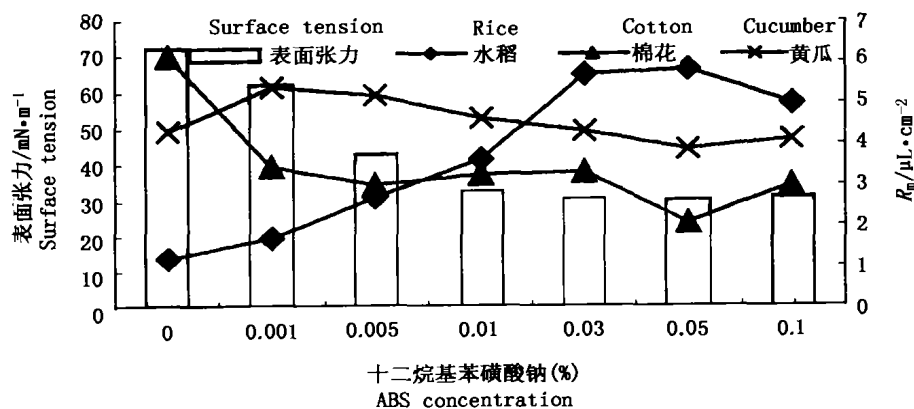


图 5 表面活性剂浓度对叶片 R_m 的影响

Fig. 5 Influence of surfactant concentrations to R_m of different leaves

以上结果表明,对于难润湿作物叶片(例如水稻),增加表面活性剂浓度, R_m 也相应增加;但对于易润湿作物叶片,增加表面活性剂浓度,反而降低了 R_m 。

3 讨论

采用大容量喷雾法施药,由于农药雾滴重复沉积、聚并,容易发生药液流失;当药液从作物叶片发生流失后,由于惯性作用,叶片上药液持留量将迅速降低,稳定后形成的最大稳定持留量 R_m ,其数值远小于流失点(POR)。

最大稳定持留量 R_m 与药液表面张力、药液在叶片上的接触角有关,在农药田间喷雾时,调整药液表面张力和接触角,增加药液在靶标上的粘附功,将在一定程度上降低药液流失现象。仔细研究这个规律,将会提高农药有效利用率,降低农药进入环境中的量。

参 考 文 献

- 1 袁会株,齐淑华. 植物保护学报,1998,25(1):95~96
- 2 Wirth W., Storp S., Jacobsen W.. *Pestic. Sci.*, 1991, 33: 411~420;
- 3 Watanabe T., Yamaguchi I.. *Pestic. Sci.*, 1992, 55: 343~389
- 4 Cunningham G. P., Harden J.. *Crop Protection*, 1998, 17: 289~292
- 5 Gohlic H.. Deposition and penetration of sprays, BCPC Monograph No. 28, Symposium on application and biology, BCPC Publication, Surrey, 1985: 173~182
- 6 Furness G. O., Magarey P. R., Miller P. H.. *Crop Protection*, 1998, 17: 639~644
- 7 朱步瑶,赵振国. 界面化学基础,北京:化学工业出版社,1996:205~234

Study on the Point of Run-off and the Maximum Retention of Spray Liquid on Crop Leaves

Yuan Huizhu Qi Shuhua Yang Daibin
(Institute for Plant Protection, CAAS, Beijing 100094)

Abstract Micro-weighing method was used to determine the point of run-off (POR) of spray liquid and the maximum retention ability (R_m) on plant leaves concerned. Both immersion method and spray method were used to study the R_m on plant leaves. Based on Young's equation, relationship R_m and adhesion force was revealed by immersion method. Relationship between R_m and adhesion work, $\gamma \times (\cos\theta + 1)$ was also revealed by spray method. The R_m could be increased on difficult-to-wet leaves, like rice, if surfactants were added, but decreased on easy-to-wet leaves too, like cotton.

Key words Point of run-off; Maximum retention (R_m); Adhesion force; Adhesion work