

· 研究论文 ·

# 嘧霉胺悬浮剂的润湿性能及其靶标表面性质研究

王 振, 李光玉, 高 越, 范仁俊, 张润祥\*

(山西省农业科学院 植物保护研究所, 太原 030032)

**摘 要:**采用光学视频接触角测量仪对加入不同润湿分散剂(7227-A、SOPROPHOR FD 和 SC-4)的40%嘧霉胺悬浮剂的表面张力及其分量进行了测定,同时研究了作用靶标黄瓜和番茄叶片的表面自由能,以及药液在其上的润湿展布性能。结果显示:不同配方的嘧霉胺悬浮剂其表面张力在39~51 mN/m之间,且均以色散分量为主,其中加入SC-4的药剂表面张力最低(39~48 mN/m);黄瓜和番茄叶片的表面自由能均较小,在22 mJ/m<sup>2</sup>左右,不利于药液润湿,且以极性分量占主导;各配方药液的水稀释液在番茄叶面上的接触角在51~86°之间,在黄瓜叶面上的接触角在30~62°之间,药液在黄瓜叶面上更易附着,其中加入7227-A的药剂在黄瓜叶片上润湿性能最好,加入SOPROPHOR FD的药剂在番茄叶片上润湿性能最好;田间防治效果与药液的润湿性能呈正相关。表明嘧霉胺悬浮剂对靶标的润湿性能不仅与药液的表面张力有关,也与其分量有关,同时受到靶标表面性质的影响,通过研究药液对靶标润湿性能可分析评价其药效。

**关键词:**嘧霉胺;悬浮剂;润湿性;靶标;表面性质

**DOI:**10.3969/j.issn.1008-7303.2012.05.14

中图分类号:S482.3 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2012)05-0551-06

## Study of wettability and target surface properties of pyrimethanil SC

WANG Zhen, LI Guangyu, GAO Yue, FAN Renjun, ZHANG Runxiang\*

(Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030032, China)

**Abstract:**The surface tension and its components, the surface free energy of cucumber and tomato leaves and the contact angle on cucumber and tomato leaves of pyrimethanil SC were measured by using optical contact angle measuring device. The results showed that the surface tension of different formula of pyrimethanil SC was around 39–51 mN/m, and the dominant component in surface tension was dispersion, the formula added SC-4 showed the lowest surface tension (39–48 mN/m); The surface free energy of cucumber and tomato leaves was about 22 mJ/m<sup>2</sup>, which was not conducive to liquid wetting, and the dominant component was polar force; The contact angle of different formula on tomato leaf ranged from 51° to 86°, and that on cucumber leaf ranged from 30° to 62°, suggesting that pyrimethanil SC was more easily adhered to cucumber leaf. The formula added 7227-A showed the best wettability on cucumber leaf, and the formula added SOPROPHOR FD showed the best wettability on tomato leaf; The results of field trial indicated that the liquid wetting properties were positively related

收稿日期:2012-04-19;修回日期:2012-07-10.

作者简介:王振,男,博士,主要从事农药剂型研究,E-mail:wz1022@163.com;\*通信作者(Author for correspondence):张润祥,男,研究员,主要从事农药创制及其应用技术研究,E-mail:zrxzyf@hotmail.com

基金项目:山西省科技攻关项目(20090311029).

to its field efficacy. The results showed that the wettability of pyrimethanil SC formula was not only related to surface tension, but also to its components, and was influenced by target surface properties. Using the wetting properties of the liquid on the target to analyze and evaluate its efficacy was feasible.

**Key words:** pyrimethanil; suspension concentrate; wettability; target; surface properties

嘧霉胺是一种作用机理独特的高效杀菌剂<sup>[1]</sup>, 由于其在水中溶解度较小(3.3 mg/L, 20 °C), 且性质稳定<sup>[2]</sup>, 适宜加工成悬浮剂。目前已登记的嘧霉胺制剂中, 悬浮剂有 138 个, 占有所有登记嘧霉胺制剂总数的 55.2%<sup>[3]</sup>。

不同表面活性剂组成的悬浮剂对靶标的润湿性能可能不同, 继而可能影响到农药在靶标上的沉积率, 最终影响药效的发挥。而药液对靶标表面的润湿性能与药液的性质、靶标表面特性等多种因素有关<sup>[4]</sup>。以往对嘧霉胺悬浮剂的研究多集中在配方筛选<sup>[2,5]</sup>、稳定性<sup>[6-9]</sup>及药效试验<sup>[1,10-14]</sup>等方面, 尚未见有关该制剂对靶标的润湿性能及其与靶标表面性质关系的研究报道。笔者探究了嘧霉胺悬浮剂对靶标润湿性能的影响因素, 特别是对其与作用靶标表面性质的关系进行了研究, 以期对该药剂的药效进行综合评价。

药液的表面性质一般用表面张力来表征, 而靶标的表面性质则通常用固体表面自由能及其分量来表征, 药液在靶标上的润湿和展布情况一般用接触角、动态接触角及液滴底圆半径等来表征<sup>[15-16]</sup>。目前研究药液的表面性质时往往只关注其总的表面张力, 较少考虑到其分量的影响<sup>[17]</sup>。在研究靶标表面性质时一般采用 Zisman 方法<sup>[18]</sup>, 但该方法只适用于仅具有色散分量的固体, 而很多靶标表面, 尤其是植物叶面, 不仅存在色散分量, 还存在极性分量, 所以研究植物叶片表面自由能时更宜采用 OWRK 法<sup>[19]</sup>。因此, 笔者在探究嘧霉胺悬浮剂对靶标润湿性能的同时, 关注并分析了药液的表面张力分量, 以及靶标(黄瓜、番茄)表面自由能及其分量对药液润湿性能的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与仪器

40% 嘧霉胺悬浮剂(pyrimethanil SC 400 g/L) [自制: 润湿分散剂质量分数 3%~5% (分别为 1 号 7227-A、2 号 SOPROPHOR FD、3 号 SC-4), 增稠剂 1.05%, 防冻剂 4%, 消泡剂 0.5%, 其余用去离子水补足]; 乙二醇(天津市化学试剂一厂, 分析纯); 正己烷(美国 Mallinckrodt Baker 公司, 色谱纯); 去离

子水(自制超纯水, 电导率 1.21 μs/m); 黄瓜和番茄叶片(采自太原市小店区孙家寨温室大棚)。

OCA20 光学视频接触角测量仪(德国 Dataphysics 公司); THX-05 低温恒温循环器(宁波天恒仪器厂); PGC453i 天平(艾德姆衡器武汉有限公司); UPH-I-20T 超纯水制造系统(成都超纯科技有限公司)。

### 1.2 实验方法

1.2.1 药剂表面性质研究 Fowkes<sup>[20]</sup>提出液体的表面张力( $\gamma$ )可分为极性( $\gamma^p$ )和非极性( $\gamma^d$ )两部分, 即

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p \quad (1)$$

而 2 种液体间的界面张力( $\gamma_{12}$ )与液体表面张力的关系如(2)式所示。

$$\gamma_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2(\gamma_1^d \gamma_2^d)^{1/2} - 2(\gamma_1^p \gamma_2^p)^{1/2} \quad (2)$$

其中: $\gamma_{12}$ 为界面张力, $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 分别为两种液体的表面张力。

若已知其中一种液体的表面张力及其分量、以及其与未知液体间的界面张力, 利用(1)和(2)式, 就可以求出未知液体的表面张力分量。

将 3 种含有不同润湿分散剂的 40% 嘧霉胺悬浮剂分别配制成 600、800 和 1 200 倍稀释液, 采用悬滴法<sup>[21]</sup>, 用接触角测量仪测定其在空气中的表面张力和在正己烷中的界面张力(控制温度在 25 °C ± 0.5 °C)。已知正己烷的表面张力  $\gamma = 18.43$  mN/m, 色散分量  $\gamma^d = 18.43$  mN/m, 极性分量  $\gamma^p = 0$  mN/m (此为仪器自带参数)。以去离子水为对照, 重复测定 5 次, 计算各药液的表面张力及其分量。

1.2.2 靶标表面性质研究 表面自由能的测定采用接触角测量法<sup>[22]</sup>。分别测试去离子水及乙二醇在靶标表面的接触角, 采用 OWRK 法<sup>[19]</sup>计算靶标表面自由能及其分量。

由 OWRK 法<sup>[19]</sup>可知: 固液两相间的界面自由能( $\gamma_{sl}$ )与固液表面自由能( $\gamma_s$ 、 $\gamma_l$ )及其极性( $\gamma^p$ )和非极性分量( $\gamma^d$ )有如(3)式关系。

$$\gamma_{sl} = \gamma_l + \gamma_s - 2(\gamma_l^d \gamma_s^d)^{1/2} - 2(\gamma_l^p \gamma_s^p)^{1/2} \quad (3)$$

由杨氏方程<sup>[23]</sup>可知液体在固体表面形成的接触角( $\theta$ )与固、液、气 3 个界面自由能之间的关系如(4)式。

$$\cos\theta = (\gamma_s - \gamma_{sl})/\gamma_l \quad (4)$$

式中: $\gamma_l$ 、 $\gamma_s$ 、 $\gamma_{sl}$ 分别为液体、固体的表面自由能及固液间的界面自由能,综合(3)(4)式并整理可得(5)式。

$$\gamma_l(1 + \cos\theta) = 2(\gamma_l^d \gamma_s^d)^{1/2} + 2(\gamma_l^p \gamma_s^p)^{1/2} \quad (5)$$

采用2种已知表面张力 $\gamma_l$ 及其分量 $\gamma_l^d$ 、 $\gamma_l^p$ 的液体,测试其在同一靶标上的接触角 $\theta$ ,便可求出 $\gamma_s^d$ 和 $\gamma_s^p$ ,二者相加即得固体表面自由能 $\gamma_s$ 。

选取新鲜、干净的番茄和黄瓜叶片的平整部分,剪取小块(避开叶脉、病斑等)并粘在载玻片上,平放在接触角测量仪的样品台上,吸取2  $\mu\text{L}$ 去离子水或乙二醇于叶面上,30 s后测试其接触角(控制测量温度在 $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ )。重复5次,计算平均值,利用SCA21软件计算各靶标表面自由能及其分量。

1.2.3 药液在靶标叶面上的润湿性研究 接触角的测试采用躺滴法<sup>[20]</sup>。选取新鲜、干净的番茄和黄瓜叶片的平整部分,剪取小块(避开叶脉、病斑等)并粘在载玻片上,平放在接触角测量仪的样品台上,吸取各药剂稀释液2  $\mu\text{L}$ 于叶面上(以去离子水为对照),利用光学视频接触角测量仪的视频功能记录0~60 s内液滴接触角变化趋势(控制温度在 $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ ),并选取60 s时的接触角为静态接触角。重复3次,计算平均值。

1.2.4 田间药效试验 参照田间药效试验准则<sup>[24]</sup>,在山西省临汾市尧庙镇乔村和乔李镇北麻城村分别进行40%啞霉胺悬浮剂防治番茄和黄瓜灰霉病的田间药效试验。于灰霉病发病初期进行常规喷雾施药,制剂用量1 200  $\text{g}/\text{hm}^2$ ,连续喷施2次,间隔7 d。于每次施药后7 d调查各级病叶数,计算病情指数和防效。

## 2 结果与分析

### 2.1 啞霉胺悬浮剂对水稀释液的表面性质

结果(表1)表明,各稀释液在空气中的表面张力和在正己烷中的界面张力均明显低于去离子水,说明配方中的润湿分散剂能显著降低体系的表面张力。对加入不同润湿分散剂的配方进行比较发现,加入SC-4(3号)的药液表面张力最小,说明SC-4降低体系表面张力的能力最强。

各药液表面张力分量均以色散分量为主,占60%以上。其中以加入SOPROPHOR FD(2号)的色散分量所占比例最高,而以加入7227-A(1号)的极性分量比例最高。说明不同润湿分散剂对表面张力分量的影响存在差异。

### 2.2 靶标表面性质

啞霉胺悬浮剂作用靶标(黄瓜、番茄)的表面自由能及其分量见表2。

表1 啞霉胺悬浮剂对水稀释药液的表面张力

Table 1 Surface tension of pyrimethanil SC

样品编号 Number	稀释倍数 Dilution Ratio	表面张力		表面张力分量及所占比例			
		Surface tension/( $\text{mN}/\text{m}$ )		Components and proportion			
		空气 Air	正己烷 Hexane	色散分量 Dispersion/( $\text{mN}/\text{m}$ )	比例 Proportion/%	极性分量 Polar/( $\text{mN}/\text{m}$ )	比例 Proportion/%
1(7227-A)	600	44.62 $\pm$ 0.96	15.53 $\pm$ 0.12	30.63 $\pm$ 1.25	68.65	13.99 $\pm$ 1.57	31.35
	800	46.29 $\pm$ 1.18	16.90 $\pm$ 0.20	31.02 $\pm$ 1.55	67.01	15.27 $\pm$ 1.95	32.99
	1 200	48.97 $\pm$ 1.76	20.51 $\pm$ 0.64	29.82 $\pm$ 2.38	60.89	19.15 $\pm$ 2.96	39.11
2(SOPROPHOR FD)	600	45.47 $\pm$ 0.54	11.23 $\pm$ 0.34	37.63 $\pm$ 0.91	82.76	7.84 $\pm$ 1.06	17.24
	800	47.11 $\pm$ 1.88	12.42 $\pm$ 0.15	38.28 $\pm$ 2.72	81.26	8.83 $\pm$ 3.30	18.74
	1 200	50.38 $\pm$ 1.53	16.10 $\pm$ 0.23	37.69 $\pm$ 2.21	74.81	12.69 $\pm$ 2.69	25.19
3(SC-4)	600	39.15 $\pm$ 1.00	11.90 $\pm$ 0.11	28.31 $\pm$ 1.25	72.31	10.84 $\pm$ 1.60	27.69
	800	43.42 $\pm$ 0.19	12.91 $\pm$ 0.13	32.49 $\pm$ 0.31	74.83	10.93 $\pm$ 0.36	25.17
	1 200	47.19 $\pm$ 0.42	15.37 $\pm$ 0.08	34.25 $\pm$ 0.58	72.58	12.94 $\pm$ 0.72	27.42
去离子水 Deionized water	-	73.52 $\pm$ 0.02	47.19 $\pm$ 0.63	27.18 $\pm$ 0.77	36.97	46.34 $\pm$ 0.77	63.03

表2 作用靶标的表面自由能

Table 2 Surface energy of target leaves

作物 Plants	接触角 Contact angle/( $^\circ$ )		表面自由能 Surface energy/ ( $\text{mJ}/\text{m}^2$ )	色散分量/ ( $\text{mJ}/\text{m}^2$ )(所占比例/%) Dispersion (Proportion)	极性分量/ ( $\text{mJ}/\text{m}^2$ )(所占比例/%) Polar (Proportion)
	去离子水 Deionized water	乙二醇 Ethylene glycol			
	番茄 Tomato	84.21 $\pm$ 1.80			
黄瓜 Cucumber	84.29 $\pm$ 1.67	72.50 $\pm$ 1.97	22.22	8.02(36.09)	14.20(63.91)

可以看出,2种作物叶面表面自由能均较小,在22 mJ/m<sup>2</sup>左右,总体上讲不利于药液的润湿<sup>[25]</sup>。

比较2种作物,发现二者皆以极性分量占主导(60%以上),其中番茄叶片的极性分量所占比例更大,而黄瓜叶片的色散分量稍高。这可能是由于植物叶片表面化学组分如蜡质层含量不同所致<sup>[26]</sup>。

### 2.3 嘧霉胺悬浮剂对靶标的润湿性

各配方稀释液在番茄、黄瓜叶面(正面)上的接触角测试结果见表3;接触角变化趋势见图1。

从表3中可看出:各药液在靶标表面的接触角总体上低于去离子水;随稀释倍数增加,接触角增大。

同一靶标比较,则含 SOPROPHOR FD 的药液在番茄叶片上的接触角较小,而含 7227-A 的药液在黄瓜叶片上的接触角较小。

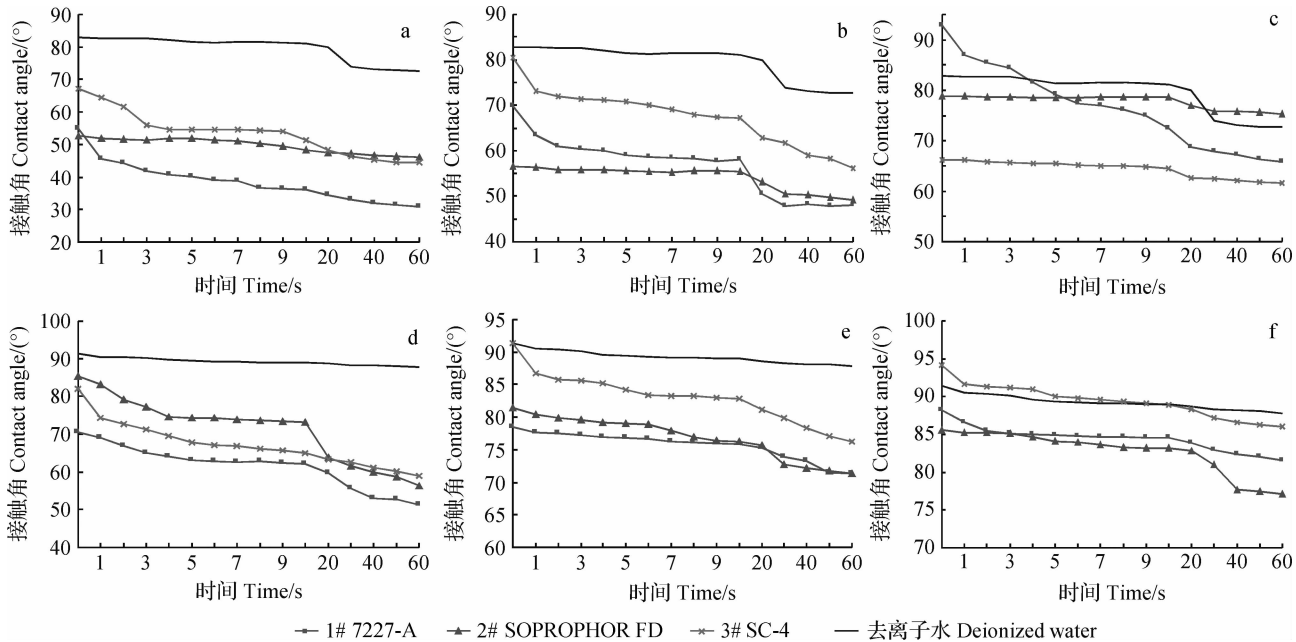
不同靶标之间比较发现,各药液在黄瓜叶面上的接触角更小,说明嘧霉胺悬浮剂在黄瓜上的润湿性更好。这可能与黄瓜叶片的色散分量所占比例更大,与药液表面张力分量更接近有关(通过比较表1

和表2得出)。

表3 嘧霉胺悬浮剂在靶标表面上的接触角

Table 3 Contact angle of pyrimethanil SC on target leaves

样品编号 Number	稀释倍数 Dilution ratio	叶面接触角 Contact angle on target leaves/(°)	
		番茄 Tomato	黄瓜 Cucumber
1(7227-A)	600	51.35 ± 1.75	30.99 ± 1.87
	800	71.32 ± 1.58	48.04 ± 1.33
	1 200	81.56 ± 1.42	65.83 ± 1.76
2(SOPROPHOR FD)	600	56.34 ± 2.13	46.09 ± 1.97
	800	71.37 ± 1.91	49.12 ± 1.45
	1 200	77.12 ± 1.34	75.20 ± 1.79
3(SC-4)	600	59.01 ± 1.20	44.51 ± 1.76
	800	76.21 ± 1.57	56.15 ± 2.41
	1 200	85.99 ± 1.61	61.56 ± 1.77
去离子水 Deionized water	—	84.21 ± 1.37	74.63 ± 1.73



a、b、c 分别为 600、800、1 200 倍稀释液在黄瓜叶面上的变化趋势图;d、e、f 分别为 600、800、1 200 倍稀释液在番茄叶面上的变化趋势图

a, b, c for cucumber leaves of 600, 800, 1 200 times dilution, rectively; d, e, f for tomato leaves of 600, 800, 1 200 times dilution, rectively

图1 各供试药液在靶标叶面上接触角变化趋势

Fig. 1 Change trend of contact angle on target leaves of different dilution

与静态接触角相比,动态接触角更能反映液滴在靶标表面接触角随时间的变化趋势,进而表征药液的润湿性能<sup>[27]</sup>。从图1可以看出,含7227-A的

药液在黄瓜叶面上的接触角变化最明显,含 SOPROPHOR FD 的药液在番茄叶面上的接触角变化最明显,这与静态接触角的研究结果相符。

从理论上讲,表面张力小的药剂其接触角一般也小<sup>[25]</sup>。本研究中表面张力最小的是含 SC-4 的药液,但实际在黄瓜和番茄叶面上接触角最小的却分别是含 7227-A 和 SOPROPHOR FD 的药液。究其原因,可能与 2 种靶标的表面自由能分量以及其表面微观结构差异有关<sup>[29]</sup>,具体尚待进一步研究。

## 2.4 40%嘧霉胺悬浮剂的田间防效

从表 4 可以看出,不同配方的悬浮剂对灰霉病均有较好的防效,其中含 SOPROPHOR FD 的药液对番茄灰霉病的防效最好,含 7227-A 的药液对黄瓜灰霉病的防效最好,这与药液对靶标润湿性能的研究结果相符。说明嘧霉胺悬浮剂的润湿性能与其防

表 4 40%嘧霉胺悬浮剂对田间番茄和黄瓜灰霉病防治效果(制剂用量 1 200 g/hm<sup>2</sup>)

Table 4 Control efficacy of 40% pyrimethanil SC on tomato and cucumber gray mould (Dosage 1 200 g/hm<sup>2</sup>)

样品编号 Number	对番茄灰霉病的防效		对黄瓜灰霉病的防效	
	Control efficacy on tomato gray mould/%		Control efficacy on cucumber gray mould/%	
	初次药后 7 d Seven days after the first spraying	末次药后 7 d Seven days after the last spraying	初次药后 7 d Seven days after the first spraying	末次药后 7 d Seven days after the last spraying
1(7227-A)	79.59	88.93	84.16	93.67
2(SOPROPHOR FD)	82.34	90.44	83.91	93.67
3(SC-4)	81.42	90.06	77.72	91.02

治效果关系密切,通过研究药液对靶标的润湿性能,可以对其田间药效进行分析和评价。

## 3 结论

嘧霉胺悬浮剂对靶标的润湿性能受到药液表面张力及其分量、靶标表面自由能及其分量的影响,但与其与靶标表面微观结构的关系还有待进一步研究;黄瓜和番茄叶片的表面自由能均较小,但二者的自由能分量构成存在差异,其中黄瓜叶片的色散分量稍高;嘧霉胺悬浮剂对靶标的润湿性能与其田间防效存在明显相关性,这为嘧霉胺的制剂研发和田间应用研究提供了依据。

## 参考文献(Reference):

[1] 孔凡彬,韩玉红. 嘧霉胺不同剂型对黄瓜灰霉病室内药效评价[J]. 广西农业科学,2004,35(6):477-478.  
KONG Fanbin, HAN Yuhong. Laboratory efficacy of pyrimethanil formulations to cucumber gray mold[J]. *J Guangxi Agric Sci*,2004,35(6):477-478. (in Chinese)

[2] 王同涛,李少华,肖圣乾,等. 嘧霉胺·苯醚甲环唑 40% 悬浮剂的研制[J]. 农药科学与管理,2010,31(2):35-38.  
WANG Tongtao, LI Shaohua, XIAO Shengqian, et al. Preparation of pyrimethanil · difenoconazole 40% SC[J]. *Pestic Sci Admin*,2010,31(2):35-38. (in Chinese)

[3] 农药信息网. [DB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.chinapesticide.gov.cn>.  
China Pesticide Information Network. [DB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.chinapesticide.gov.cn>.

[4] GASKIN R E, PATHAN A K. Characterising plant surfaces and adjuvant interactions to improve pesticide spray retention and coverage on avocados[J]. *N Z Avocado Growers' Association Annu Res Rep*,2006,6:63-70.

[5] 杨靖华,孙凤梅. 30% 嘧霉胺悬浮剂的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(1):138-139.  
YANG Jinghua, SUN Fengmei. Study on the formulation preparation of 30% pyrimethanil suspension concentrate[J]. *J Anhui Agric Sci*,2007,35(1):138-139. (in Chinese)

[6] 牛红红,武巍,蔡玉红,等. 影响农药悬浮剂稳定性因素探析[J]. 农业与技术,2010,30(2):52-53.  
NIU Honghong, WU Wei, CAI Yuhong, et al. Factors of the pesticide suspension stability[J]. *Agric Tech*,2010,30(2):52-53. (in Chinese)

[7] 路福绥. 农药悬浮剂的物理稳定性[J]. 农药,2000,39(10):8-10.  
LU Fusui. The physical stabilization of suspension concentrate formulations[J]. *Pesticide*,2000,39(10):8-10. (in Chinese)

[8] 黄敢良,李凤敏,袁会珠,等. 颗粒粒径和粒谱对悬浮剂贮存物理稳定性影响研究[J]. 农药学报,2001,3(2):77-80.  
HUANG Qiliang, LI Fengmin, YUAN Huizhu, et al. Relationship between SC stability with particle size and size distribution[J]. *Chin J Pestic Sci*,2001,3(2):77-80. (in Chinese)

[9] 徐妍,马超,刘世禄,等. 浅谈农药悬浮剂的质量提升[J]. 现代农药,2010,9(2):18-24.  
XU Yan, MA Chao, LIU Shilu, et al. Improving the quality of aqueous suspension concentrate of pesticide[J]. *Mod Agrochem*,2010,9(2):18-24. (in Chinese)

[10] 徐志英,时春喜,关崇梅. 40% 嘧霉胺 SC 防治番茄灰霉病田间药效试验[J]. 农药,2005,44(1):40-41.  
XU Zhiying, SHI Chunxi, GUAN Chongmei. Field efficacy of pyrimethanil 40% SC against tomato gray mold[J]. *Pesticide*,

- 2005,44(1):40-41. (in Chinese)
- [11] 史延春. 40% 嘧霉胺 SC 防治番茄灰霉病田间药效试验[J]. 北方园艺, 2007(8):200.  
SHI Yanchun. Field efficacy of pyrimethanil 40% SC against tomato gray mold[J]. *North Hortic*, 2007(8):200. (in Chinese)
- [12] 纪明山, 祁之秋, 赵平, 等. 番茄灰霉病菌对嘧霉胺抗药性的试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(5):345-347.  
JI Mingshan, QI Zhiqiu, ZHAO Ping, *et al.* Primary study on resistance of *Botrytis cinerea* to pyrimethanil in tomato [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2002, 33(5):345-347. (in Chinese)
- [13] 黄啟良, 李凤敏, 王敏. 40% 嘧霉胺悬浮剂防治黄瓜灰霉病药效试验[J]. 植物保护, 2000, 26(2):44-45.  
HUANG Qiliang, LI Fengmin, WANG Min. Field efficacy of pyrimethanil 40% SC against cucumber gray mold[J]. *Plant Prot*, 2000, 26(2):44-45. (in Chinese)
- [14] 高力余, 杨国荣, 陈亮辉. 30% 嘧霉胺 SC 防治番茄灰霉病田间药效试验初报[J]. 湖南农业科学, 2007(2):102-104.  
GAO Liyu, YANG Guorong, CHEN Lianghui. Field efficacy of pyrimethanil 30% SC against tomato gray mold [J]. *Hunan Agric Sci*, 2007(2):102-104. (in Chinese)
- [15] KAO R L, EDWARDS D A, WASAN D T, *et al.* Measurement of interfacial dilational viscosity at high rates of interface expansion using the maximum bubble pressure method [J]. *Colloid Interface Sci*, 1992, 148(1):247-260.
- [16] CHANG C H, WANG N L, FRANCES E I. Adsorption dynamics of single and binary surfactants at the air/water interface [J]. *Colloids Surf*, 1992, 63(4):321-332.
- [17] 周璐. 几种农药用表面活性剂溶液在不同靶标上的润湿性和动态行为研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.  
ZHOU Lu. Study on wetting and dynamic action of several surfactant solutions of pesticide on several different targets[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [18] 顾中言. 植物的亲水疏水特性与农药药液行为的分析[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(2):276-281.  
GU Zhongyan. Analysis of the relationship between hydrophilic or hydrophobic property of plant and action of pesticides solution on plants leaves [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2009, 25(2):276-281. (in Chinese)
- [19] OWENS D K, WENDT R C. Estimation of the surface free energy of polymers[J]. *J Appl Polym Sci*, 1969, 13(8):1741-1747.
- [20] FOWKES F M. Additivity of intermolecular forces at interfaces. I. Determination of the contribution to surface and interfacial tensions of dispersion forces in various liquids [J]. *J Phys Chem*, 1963, 67(12):2538-2541.
- [21] 张龙, 李佳佳, 刘天晴. 水基型氯氰菊酯微乳剂的稳定性及润湿展布性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30):227-232.  
ZHANG Long, LI Jiajia, LIU Tianqing. Study of stability and wet-spreading of water-based cypermethrin microemulsion [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 27(30):227-232. (in Chinese)
- [22] 李翠平. 含表面活性剂驱油体系的界面特性及其在化学驱中的作用[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.  
LI Cuiping. Interfacial characteristic of flooding system with surfactant and its effect on chemical flooding [D]. Daqing: Daqing Petroleum University, 2009. (in Chinese)
- [23] YOUNG T. An essay on the cohesion of fluids[R]. *Phil Trans R Soc London*, 1805, 95:65-87.
- [24] GB/T 17980. 28—2000, 农药田间药效试验准则(一) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.  
GB/T 17980. 28—2000, Pesticide-guidelines for the field efficacy trials (I) [S]. Beijing: China Standard Press, 2000. (in Chinese)
- [25] 赵振国. 接触角及其在表面化学研究中的应用[J]. 化学研究与应用, 2000, 12(4):370-374.  
ZHAO Zhenguo. Contact angle and its application in surface chemistry research [J]. *Chem Res Appl*, 2000, 12(4):370-374. (in Chinese)
- [26] KUNST L, SAMUELS A L. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax [J]. *Prog Lipid Res*, 2003, 42(1):51-80.
- [27] 庞红宇, 张现峰, 杜凤沛, 等. 农药助剂溶液在靶标表面的动态润湿性[J]. 农药学报, 2006, 8(2):157-161.  
PANG Hongyu, ZHANG Xianfeng, DU Fengpei, *et al.* Dynamic wettability of pesticide adjuvant solution on target [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2006, 8(2):157-161 (in Chinese)
- [28] WENZEL R N. Surface roughness and contact angle [J]. *J Phys Chem*, 1949, 53(9):1466-1467.

(责任编辑: 金淑惠)