

不同表面张力的杀虫单微乳剂药滴在水稻叶面的行为特性

顾中言 许小龙 韩丽娟 (江苏省农业科学院 植物保护研究所, 江苏 南京 210014)

Action of Drops of Monosultap ME with Different Surface Tension on Rice Leaf

GU Zhong-yan, XU Xiao-long, HAN Li-juan

(Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: The surface tension and spreading characteristics of monosultap ME drops on rice leaf were studied using 50 - 1000 mg/L 20% monosultap ME, which comprised technical product of monosultap ME, synergist, mineral oil, and three non-ionic surfactants. Results showed that the surface tension of monosultap ME at 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, 500 mg/L and 1000 mg/L were smaller than the critical surface tension of rice leaf. The contact angles of the drops of these solution were about 135° when the drops dropped onto rice leaf. As time went on, the contact angle became smaller, and the higher the concentration was, the faster the contact angle became small. Finally, the drops of monosultap ME at 200 mg/L, 500 mg/L and 1000 mg/L spread completely because the surfactant was over CMC (critical micelle concentration) in these solution and the drops at 50 mg/L and 100 mg/L could not spread eventually because the surfactant did not reach the CMC. Small drops of water tend to be attracted to form larger drops when they were near enough on rice leaf due to surface tension, but the drops of monosultap ME at 500 mg/L could not form larger ones and they could be distributed over rice leaf when they dropped on to it.

Key words: solution; surface tension; rice; wet-spreading

摘 要: 研究了浓度为 0.50、100、200、500 和 1000 mg/L 的杀虫单微乳剂药液在水稻叶面上的表面张力特性及展布情况。结果表明 50~1000 mg/L 的杀虫单微乳剂药液的表面张力小于水稻叶的临界表面张力。将 0.05 mL 药液点滴在水稻叶上的瞬间,接触角均为 135°左右,但随时间的推移而变小,最终,药液中表面活性剂达到临界胶束浓度的 200、500 和 1000 mg/L 的药滴在稻叶上完全展布。因表面张力大,稻叶上彼此靠近的 0.05 mL 水滴能聚合成大水珠,同样体积的杀虫单微乳剂 500 mg/L 的药滴,虽不能使它在点滴后立即展布,但能均匀地分布在水稻叶上。

关键词: 溶液; 表面张力; 水稻; 润湿展布

中图分类号: S482.3; S482.91

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2004)02-0176-05

稻田喷洒农药利用率低,绝大多数药液以水珠的形式从稻叶上滚落到田水中,经稻田排水,田水中的农药进入江河湖泊中,成为污染水系的主要根源。在药剂中加入表面活性剂,可以降低药液的表面张力,促使它在水稻叶面润湿展布,提高农药利用率^[1,2]。实际上农药制剂中均含有表面活性剂,可绝大多数药剂的推荐剂量仍不能使它在稻叶表面润湿展布^[3]。Wirth 等认为喷洒液从喷雾器喷嘴喷出的瞬间,雾滴的动态表面张力(dynamic surface tension)较高^[4];Holloway 等指出药液的动态表面张力影响药液在植物表面的滞留与展布^[5];而刘程等认为表面活性剂溶液表面张力的时间效应是其溶液的固有特性^[6]。因此研究不同表面张力的液滴在水稻叶面的行为特性,探讨表面活性剂、表面张力与水稻之间的关系,以合理调节药液中的表面活性剂浓度和表面张力,对于提高农药利用率,减少农药使用量具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用叶片为水稻品种太湖梗 2 号抽穗期的倒 2

叶。供试药剂为 20% 杀虫单微乳剂(20% monosultap ME),由杀虫单原药与增效剂、矿物油和三种非离子表面活性剂配制的水包油型微乳剂,江苏省农业科学院植物保护研究所配制。

1.2 试验方法

1.2.1 不同表面张力液体及杀虫单微乳剂药液在水稻叶面接触角测定

采集新鲜水稻叶片,固定成平面,不破坏叶面结构并使叶面保持自然状态。液体在叶面形成液滴后,不再移动叶片。为避免温度变化引起液体表面张力的变化,液体蒸发改变液滴体积而影响测定准确性,整个测定过程在温度为 25~28℃,相对湿度为 80%左右的封闭环境下进行。为避免灯光照射时间长而引起液滴蒸发,只在近视距摄影时打开光源。取 0.05 mL 不同表面张力的液体点滴在水稻叶面,用近视距摄影法摄下叶面上的液滴,用扫描仪输入电脑,用 CorelDRAW10 专业软件适当放大,用

收稿日期: 2003-03-04; 修改稿收到日期: 2003-05-27。

基金项目: 国家重点科技攻关课题(2001BA309B08)。

第一作者简介: 顾中言(1957-),男,研究员。

量角器精确测量出气相、液相和固相交界处的液面切线与叶面所形成的夹角。

1.2.1.1 表面张力参考基线

将不含表面活性剂的、不同表面张力的液体点滴在水稻叶面上,表面张力大的液体在稻叶上的接触角大,表面张力小的液体接触角小,以接触角的 $\cos\theta$ 对液体表面张力作图,得到接触角与表面张力的回归直线,直线外延至 $\cos\theta=1$ (接触角为零)处,对应的液体表面张力值即为水稻叶的临界表面张力值^[3,6]。

1.2.1.2 稻叶上杀虫单微乳剂药滴在不同时间的接触角及对应的表面张力

取50、100、200、500和1000 mg/L的杀虫单微乳剂药液各0.05 mL,点滴在稻叶正面,以表面张力为71.8 mN/m的水滴作为参照液滴。每间隔一定的时间,用近视距摄影方法摄下药滴在稻叶表面的接触角^[3]。通过参考基线,计算出接触角对应的表面张力。

1.2.2 20%杀虫单微乳剂药液内表面活性剂临界胶束浓度测定

在250 mL三角瓶中配制杀虫单微乳剂的系列浓度,按国家标准GB 5549-90方法^[7],用JZHY-180界面张力仪测定各相应浓度药液的表面张力。将测得的表面张力与对应的浓度对数作图,得一条曲线,曲线拐点对应的浓度,即为杀虫单微乳剂的临界胶束浓度。

1.2.3 杀虫单微乳剂及清水在稻叶表面的液滴行为

取0.05 mL 500 mg/L的20%杀虫单微乳剂药液和清水若干滴,分别依次点滴在水稻叶正面,观察药液和清水液滴行为。

1.2.4 不同浓度的杀虫单微乳剂药液在稻叶上滞留量测定

将新鲜的水稻叶片称量后在不同浓度的药液中浸泡10 s,取出,至叶片不滴水时再称量,重复3次,计算平均数。用哈尔滨市光学仪器厂生产的WDY-500A型面积测量仪测定叶面积,折算每1 cm²的滞留量。

2 结果与分析

2.1 表面张力参考基线

不同表面张力的液滴在水稻叶面上的接触角度数及相应的 $\cos\theta$ 值列于表1。因表面张力为46.49、57.91、63.30和71.80 mN/m的液体在水稻

表1 不同表面张力的液体在水稻叶面上的接触角

Table 1. Contact angle of liquids with different surface tension on rice leaf.

液体表面张力值 Surface tension of liquid /(mN·m ⁻¹)	接触角 Contact angle (θ)/°	cos θ
39.00	52	0.61
43.38	100	-0.17
46.49	130	-0.64
57.91	129	-0.63
63.30	132	-0.67
71.80	137	-0.73

叶面的接触角接近,所以仅用39.00、43.38和46.49 mN/m及对应 $\cos\theta$ 作回归直线于图1,求得方程为 $y=-0.1676x+7.1338$ 。将图中直线外延至 $\cos\theta=1$ 处,求得水稻叶的临界表面张力值为36.7 mN/m,表面张力小于此值的液体能在水稻叶面润湿展布。

2.2 20%杀虫单微乳剂药液中表面活性剂的临界胶束浓度

杀虫单微乳剂的浓度对数与对应表面张力值的关系曲线见图2。从图2中可以看到:(1)杀虫单微乳剂50、100、200、500和1000 mg/L的表面张力值低于水稻叶的临界表面张力值。(2)曲线拐点处的药液浓度为200 mg/L,说明此浓度药液内表面活性剂达到了临界胶束浓度,500和1000 mg/L药液中的表面活性剂超过了临界胶束浓度,它们对应的表面张力值为30 mN/m左右。

2.3 杀虫单微乳剂药滴在水稻叶面的表面张力动态

图3反映了杀虫单微乳剂50、100、200、500和1000 mg/L的药滴在水稻叶面随时间的变化动态,

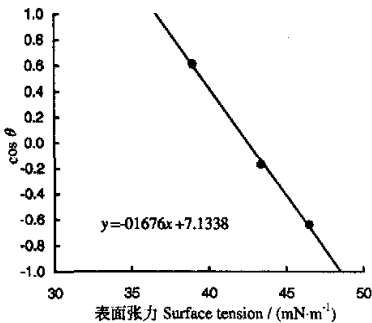


图1 稻叶临界表面张力的 Zisman 图
Fig. 1. Zisman figure of critical surface tension of rice leaf.

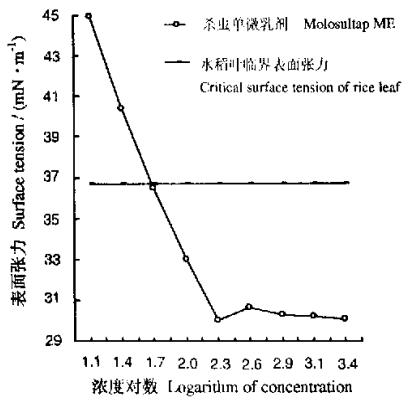


图2 杀虫单微乳剂浓度对数与表面张力关系
Fig. 2. Relationship between surface tension and logarithm of molosultap ME concentration.

测得的接触角与参考基线比较,得到各药滴不同时间的表面张力值列于表2。从中可以发现,虽然各药液本身的表面张力小于水稻叶的临界表面张力,但药滴在接触稻叶的初期,其接触角在135°左右,说明此时药滴的表面张力大于药液原有的表面张力。随着时间的推移,接触角变小,药滴表面张力下降,并且浓度越高,下降越快。药液中表面活性剂达到临界胶束浓度的200、500和1000 mg/L的药滴,最终在水稻叶上完全展布。表面活性剂没有达到临界胶束浓度的50和100 mg/L的药滴,虽然药滴的接触角随时间减小,表面张力下降,但经180 min后,药滴仍不能在水稻叶面润湿展布。

2.4 稻叶表面的液滴行为

图4是相依水滴和杀虫单微乳剂药滴在水稻叶面的行为结果,表现为小水滴彼此靠近后形成了大水珠,而20%杀虫单微乳剂500 mg/L药滴彼此相

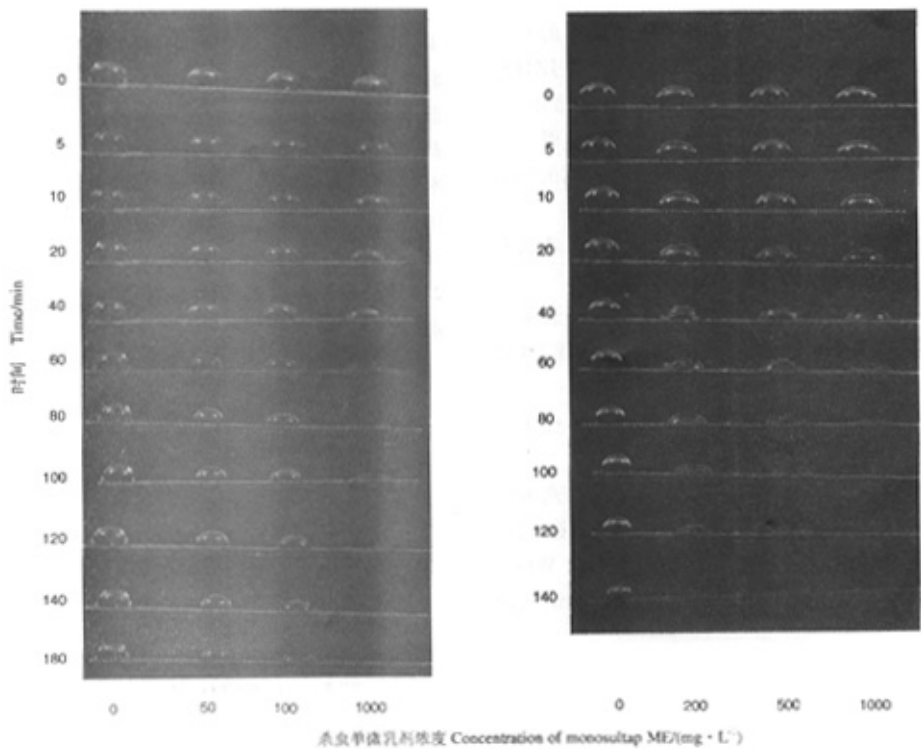


图3 不同时间、不同浓度的杀虫单微乳剂液滴在水稻叶面湿润展布
Fig. 3. Wet-spreading of drops with different concentrations of monosultap ME on rice leaves at different time.

表 2 不同浓度的杀虫单微乳剂不同时间在水稻叶正面湿润展布情况

Table 2. Wet-spreading of different concentrations of monosultap ME on rice leaves at different time.

时间 Time / min	20%杀虫单微乳剂药液浓度及表面张力 Concentration and surface tension of 20% monosultap ME									
	50 mg/L		100 mg/L		200 mg/L		500 mg/L		1000 mg/L	
	(36.5 mN/m)		(36.5 mN/m)		(36.5 mN/m)		(36.5 mN/m)		(36.5 mN/m)	
	接触角 CA/°	表面张力 CT /(mN·m ⁻¹)	接触角 CA/°	表面张力 CT /(mN·m ⁻¹)	接触角 CA/°	表面张力 CT /(mN·m ⁻¹)	接触角 CA/°	表面张力 CT /(mN·m ⁻¹)	接触角 CA/°	表面张力 CT /(mN·m ⁻¹)
0	136	≥46.9	136	≥46.9	135	≥46.8	135	≥46.8	133	≥46.6
5	133	46.6	125	46.0	121	45.6	123	45.8	90	42.6
10	127	46.2	123	45.8	117	45.3	110	44.6	84	41.9
20	125	46.0	118	45.4	98	43.4	79	41.4	75	41.0
40	124	45.9	90	42.6	87	42.3	70	40.5	64	39.9
60	122	45.7	72	40.7	72	40.7	56	39.2	48	38.6
80	120	45.5	70	40.5	58	39.4	52	38.9	34	37.6
100	114	45.0	69	40.4	55	39.1	44	38.3	26	37.2
120	112	44.8	58	39.4	49	38.7	38	37.9	19	36.9
140	108	44.4	50	38.7	38	37.9	19	36.9	0	<36.7
160	94	43.0	50	38.4	0	<36.7	0	<36.7		
180	90	42.6	46	38.4						

CA, Contact angle; CT, Surface tension.

表 3 杀虫单微乳剂在稻叶上的滞留量变化

Table 3. Quantity of monosultap ME solution remained on rice leaves.

浓度 Concentration /(mg·L ⁻¹)	表面张力 Surface tension /(mN·m ⁻¹)	滞留量
		Quantity of solution remained on rice leaves /(mg·cm ⁻²)
0.0	71.80	0.0495
12.5	44.90	1.0310
25.0	40.37	1.7710
50.0	36.46	4.3810
100.0	33.00	6.6640
200.0	30.02	7.5740
400.0	30.61	7.2720
600.0	30.55	9.8510
800.0	30.25	9.0000
1000.0	30.65	6.2150

依点滴在水稻叶面后,并不形成大水珠,而是均匀地展布在水稻叶面。

2.5 不同浓度的杀虫单微乳剂在稻叶上的滞留量变化

从表 3 可以发现,水在稻叶表面上的量很少,每 1 cm² 只有 0.05 mg。杀虫单微乳剂从低浓度到高浓度,单位面积上的滞留量不断增加,至 600 mg/L 和 800 mg/L 时,单位面积上的滞留量最多。而杀虫单微乳剂 50 mg/L 和 100 mg/L,药液表面张力小于水稻叶的临界表面张力,但表面活性剂低于临界胶束浓度,单位面积稻叶上的滞留量仅占 600 mg/L 处理的 44.47% 和 67.65%。

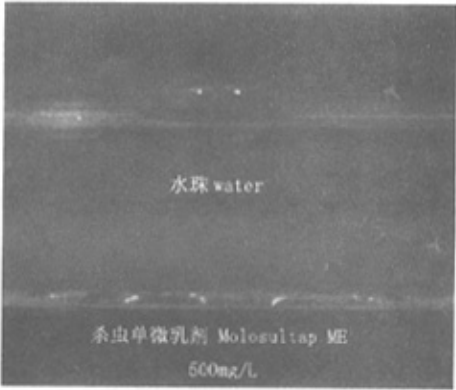


图 4 水滴和杀虫单微乳剂药滴在水稻叶面的行为

Fig. 4. Action of water and monosultap ME drops on rice leaf.

3 讨论

水稻叶面有一蜡质层,水稻叶面的临界表面张力仅 36.7 mN/m,远低于 100 mN/m,属低能蜡质表面。根据润湿方程 $w_s = r_s - r_l - r_{sl} > 0$ (r_s 为固体临界表面张力, r_l 为液体表面张力, r_{sl} 为液-固界面张力),液体的表面张力小于固体临界表面张力后,才能在固体表面润湿展布^[6]。农药用水稀释,水的表面张力为 71.8 mN/m,大于水稻叶的临界表面张力。表面活性剂能降低水的表面张力。分布于溶液气-液界面的表面活性剂分子达到饱和状态时,在溶液内部形成胶束,即达到了临界胶束浓度。当溶液

的气-液界面增大,形成胶束的表面活性剂便向新的界面转移,转移需要时间,因此会出现新界面的表面张力随时间而变化的现象^[6]。试验中使用的20%杀虫单微乳剂200,500和1000 mg/L的药液表面张力小于水稻叶的临界表面张力,药液中表面活性剂分子达到或高于临界胶束浓度,药液形成药滴后,表面积扩大,产生了新的气-液界面,表面活性剂分子在新界面上的分布达到饱和前,药滴的表面张力大,因此不能瞬时在水稻叶面润湿展布。药滴的表面张力随时间下降,并且浓度越高,下降的速度越快,最终药滴的表面张力小于水稻叶的临界表面张力,在稻叶表面上完全展布。20%杀虫单微乳剂在50和100 mg/L的浓度下,虽然药液的表面张力也小于水稻叶的临界表面张力,但药液中表面活性剂没有达到临界胶束浓度,药滴内部没有足够多的表面活性剂分子在新界面的分布达到饱和状态,甚至原有的分布密度还得稀释,因此经180 min后,药滴仍不能在水稻叶面完全展布,单位面积上的滞留量比浓度为600 mg/L时少得多。

当水滴彼此靠近地点滴在水稻叶面上时,由于表面张力大,水滴间相互吸引,聚合成大的水珠。20%杀虫单微乳剂500 mg/L药液的表面张力小于水稻叶的临界表面张力,药液中表面活性剂分子超过临界胶束浓度,药滴彼此靠近地点滴在水稻叶面后,虽不能立即展布,但足以克服药滴间彼此吸引的表面张力,使药滴均匀地展布在水稻叶面上。

从喷雾器中喷出的小雾滴能粘附在水稻叶面。但当喷出的雾滴为表面张力大于水稻叶的临界表面张力,雾滴内的表面活性剂没有达到临界胶束浓度时,小雾滴就会发生聚合,由于水稻叶有很大的倾斜度,有的几乎直立,当聚合的水珠的重力超出水滴与水稻叶之间的吸附力后,水珠就会向下滚动,向下滚动的水珠又吸引叶面的水滴,水珠越滚越大,最终从

叶面滚落到田水中。用于喷雾的药液的表面张力小于水稻叶的临界表面张力值,表面活性剂分子超过临界胶束浓度时,虽然由于时间效应,喷出的药滴不能在接触稻叶的瞬间就润湿展布,但只要喷洒在水稻叶上的药液量在水稻叶的最大滞留量的范围内,雾滴就能均匀地分布在水稻叶面上,并有较大的持药量,即便超出了叶片的滞留量,液滴也会沿着叶片和植株缓慢向下流动,所到之处稻株均已湿润。

参考文献:

- 1 Hu M Y(胡美英), Huang B Q(黄炳球), Xiao Z Y(肖璧玉), *et al.* Studies on the effect and mode of synergism of surfactant mixed with insecticides against litchi insect pests. *J South China Agric Univ* (华南农业大学学报), 1998, 19(3): 41-46. (in Chinese with English abstract)
- 2 Tu Y Q(屠豫钦). Pesticide formulation and dose transfer. *Chinese J Pesticide Sci* (农药学报), 1999, 1(1): 1-6. (in Chinese)
- 3 Gu Z Y(顾中言), Xu X L(许小龙), Han L J(韩丽娟). The cause of the difficulty in wet-spreading of some insecticides on rice, wheat and wild cabbage leaves. *Chinese J Pesticide Sci* (农药学报), 2002, 4(2): 75-80. (in Chinese with English abstract)
- 4 Wirth W, Storp S, Jacobsen W. Mechanisms controlling leaf retention of agricultural spray solutions. *Pesticide Sci*, 1991, 33: 411-420.
- 5 Holloway P J, Ellis M C B, Webb D A, *et al.* Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. *Crop Prot*, 2000, 19(1): 27-37.
- 6 Liu C(刘 程), Zhang W F(张万福), Chen C M(陈长明). Manual for Applying Surfactant(表面活性剂应用手册). Beijing: Chemical Industrial Press(化学工业出版社), 1996, 28-43. (in Chinese)
- 7 China Standard Press(中国标准出版社). Compilation of Chemical Industrial Standard; Surfactant(化学工业标准汇编——表面活性剂). Beijing: China Standard Press(中国标准出版社), 1997, 48-53. (in Chinese)

作者: 顾中言, 许小龙, 韩丽娟
作者单位: 江苏省农业科学院, 植物保护研究所, 江苏, 南京, 210014
刊名: 中国水稻科学 
英文刊名: CHINESE JOURNAL OF RICE SCIENCE
年, 卷(期): 2004, 18(2)
被引用次数: 25次

参考文献(7条)

1. 胡美英;黄炳球;肖整玉 [Studies on the effect and mode of synergism of surfactant mixed with insecticides against lichi insect pests](#)[期刊论文]-[华南农业大学学报](#) 1998(03)
2. 屠豫钦 [Pesticide formulation and dose transfer](#) 1999(01)
3. 顾中言;许小龙;韩丽娟 [The cause of the difficulty in wet-spreading of some insecticides on rice, wheat and wild cabbage leaves](#)[期刊论文]-[农药学报](#) 2002(02)
4. Wirth W;Storp S;Jacobsen W [Mechanisms controlling leaf retention of agricultural spray solutions](#) 1991
5. Holloway P J;Ellis M C B;Webb D A [Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage](#)[外文期刊] 2000(01)
6. 刘程;张万福;陈长明 [Manual for Applying Surfactant](#) 1996
7. 中国标准出版社 [化学工业标准汇编-表面活性剂](#) 1997

本文读者也读过(10条)

1. 顾中言, 许小龙, 韩丽娟 [杀虫单微乳剂提高对小菜蛾和水稻纵卷叶螟防治效果的原理](#)[期刊论文]-[江苏农业学报](#) 2002, 18(4)
2. 安艳丽 [农药施用中的三点防护措施](#)[期刊论文]-[吉林农业](#)2010(20)
3. 盛龙 [农药施用与气象条件](#)[期刊论文]-[现代农业科技](#)2009(20)
4. 韩效钊, 王雄, 孔祥云, 钱佳, 甘世林 [润湿剂在叶面肥料中的应用研究](#)[期刊论文]-[磷肥与复肥](#)2001, 16(6)
5. 王朝江, 高春燕, WANG Chao-Jiang, GAO Chun-Yan [农药及其施用环境对平菇菌丝生长的影响](#)[期刊论文]-[湖北农业科学](#)2011, 50(5)
6. 顾中言, 许小龙, 韩丽娟 [几种植物临界表面张力值的估测](#)[期刊论文]-[现代农药](#)2002, 1(2)
7. 顾中言, 许小龙, 韩丽娟 [作物叶片持液量与溶液表面张力的关系](#)[期刊论文]-[江苏农业学报](#)2003, 19(2)
8. 刘怀高 [蝗虫微孢子虫喷雾助剂选配及其沉积特性研究](#)[学位论文]2007
9. 吴洪特, 于兵川 [表面活性剂复配及其对百草枯增效试验](#)[期刊论文]-[湖北农业科学](#)2003(4)
10. 孟月 [张与驰, 性命攸关-表面张力与表面活性剂](#)[期刊论文]-[大科技·科学之谜](#)2005(10)

引证文献(25条)

1. 王波, 宋坚利, 曾爱军, 刘亚佳, 张京, 何雄奎 [剂型及表面活性剂对农药药液在植物叶片上铺展行为的影响](#)[期刊论文]-[农药学报](#) 2012(3)
2. 王治林 [低碳经济在植物保护领域的应用——农药精准、减量使用技术](#)[期刊论文]-[管理学家](#) 2011(6)
3. 许小龙, 徐广春, 顾中言, 徐德进 [雾滴体积和测量时间对水稻叶面雾滴接触角的影响](#)[期刊论文]-[西南农业学报](#) 2013(6)
4. 宋坚利, 王波, 曾爱军, 刘亚佳, 张京, 代美灵 [雾滴在水稻叶片上的沉积部位分析与显微试验](#)[期刊论文]-[农业机械](#)

5. 徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙. 促进稻田农药利用效率的表面活性剂筛选[期刊论文]-中国农业科学 2013(7)
6. 王波, 宋坚利, 曾爱军, 刘亚佳, 张京, 何雄奎. 水稻叶片上露水对农药沉积量的影响[期刊论文]-中国农业大学学报 2012(3)
7. 顾中言, 陈明亮, 许小龙, 韩丽娟. 表面活性剂TX-10 对溶液表面张力及水稻植株持液量的影响[期刊论文]-江苏农业学报 2006(4)
8. 刘晓燕, 曹塬程, 刘小文, 郭章碧, 白洁, 杨强. 机油乳油提高药液对紫茎泽兰叶片润湿性研究[期刊论文]-现代农药 2009(6)
9. 范鹏, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 徐广春, 石伟山. 能在水稻叶上润湿铺展的甲维盐微乳剂的研制[期刊论文]-江苏农业学报 2009(5)
10. 徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 董玉轩. 常用农药在水稻叶片上的润湿能力分析[期刊论文]-中国农业科学 2012(9)
11. 顾中言, 陈明亮, 许小龙, 徐德进. 液体在结球甘蓝叶面上的行为趋势分析[期刊论文]-江苏农业学报 2007(6)
12. 倪寿坤, 顾中言. 影响杀虫剂药效的因素与科学使用杀虫剂的原理和方法IV. 提高杀虫剂药效的基本方法[期刊论文]-江苏农业科学 2005(6)
13. 徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 董玉轩. 甲维盐分散粒剂药液在甘蓝叶面上的润湿行为[期刊论文]-江苏农业学报 2012(6)
14. 徐德进, 顾中言, 徐广春, 许小龙, 范鹏. 药液表面张力与喷雾方法对雾滴在水稻植株上沉积的影响[期刊论文]-中国水稻科学 2011(2)
15. 张晓光, 董金凤. 一种新型有机硅表面活性剂提高药液润湿性能的研究[期刊论文]-化学研究与应用 2008(6)
16. 刘晓燕, 曹塬程, 尹洪宗, 郭章碧, 白洁. 有机硅提高除草剂在紫茎泽兰叶片上润湿性能的研究[期刊论文]-生态环境学报 2010(3)
17. 朱金文, 周国军, 曹亚波, 戴余有, 朱国念. 氟虫腈药液在水稻叶片上的沉积特性研究[期刊论文]-农药学报 2009(2)
18. 顾中言. 植物的亲水疏水特性与农药药液行为的分析[期刊论文]-江苏农业学报 2009(2)
19. 范鹏, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 徐广春. 不同浓度的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂药液的表面张力及其在甘蓝叶面的润湿展布动态[期刊论文]-江苏农业学报 2011(3)
20. 范鹏, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 徐广春. 甲维盐微乳剂药液在水稻叶面的行为分析[期刊论文]-中国水稻科学 2010(5)
21. 陆自强, 杜予州, 周福才, 陈丽芳, 吴永方, 奚本贵, 王德江. 水稻螟虫发生动态与循证控制方案中的若干问题[期刊论文]-植物保护 2005(2)
22. 徐德进, 顾中言, 徐广春, 许小龙, 董玉轩. 雾滴密度及大小对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟效果的影响[期刊论文]-中国农业科学 2012(4)
23. 陈明亮, 顾中言. 农药与有害生物综合防治的关系及农药使用技术的定义和研究方向[期刊论文]-江苏农业科学 2008(5)
24. 应兴华, 徐霞, 杨仕华, 朱智伟, 陈铭学, 王磊, 程本义, 夏俊辉. 水稻籽粒农药残留的品种间差异性[期刊论文]-中国水稻科学 2011(2)
25. 顾中言, 徐广春, 徐德进, 许小龙. 稻田农药科学减量的技术体系及其原理[期刊论文]-江苏农业学报 2012(5)

引用本文格式：[顾中言](#). [许小龙](#). [韩丽娟](#) [不同表面张力的杀虫单微乳剂药滴在水稻叶面的行为特性](#)[期刊论文]-[中国水稻科学](#) 2004(2)