

顾中言,徐德进,许小龙,等. 稻田农药科学使用 II. 水稻植株的疏水特性和药液在水稻表面的湿润展布[J]. 江苏农业科学,2013,41(9): 105-109.

# 稻田农药科学使用

## II. 水稻植株的疏水特性和药液在水稻表面的湿润展布

顾中言, 徐德进, 许小龙, 徐广春

(江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**水稻植株具有很强的疏水特性,绝大多数农药的推荐剂量药液难以黏着在水稻植株上,尤其是高含量的可湿性粉剂、水分散粒剂、可溶粉剂、水剂等,在田间使用浓度条件下,药液将因为难以黏着在水稻叶面而流失。农用助剂可以降低药液的表面张力,提高药液在水稻植株上黏着和润湿展布的能力,从而提高农药在水稻植株上的沉积效率。

**关键词:**水稻植株;疏水性;农药;助剂;沉积效率

**中图分类号:** S48 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)09-0105-05

喷洒的农药药液能否有效地黏附在植物表面一直是农药使用技术中引人关注的问题。人们不仅要求药液能黏附在植物表面,而且能自动铺展以达到最佳的覆盖面积,从而达到良好的保护效果。然而很多药液难以黏附在水稻、小麦、甘蓝等植物的表面而滚落,农药利用率低<sup>[1-2]</sup>。为保证对有害生物的防治效果,就必须加大农药用量,这又加重了农药对环境的污染。因此,设法增加农药雾滴在水稻植株表面的黏着力是稻田农药科学使用中不可或缺的技术途径。

### 1 水稻植株的疏水特性和叶片的临界表面张力

将液体点滴于固体表面,或铺展于固体表面(图1-A),或以小滴留在固体表面(图1-B)。小滴固、液、气3相交界面的切线经液滴内部与气-固界面的夹角为接触角。当接触角小于 $90^\circ$ ,液滴能黏着在固体表面甚至完全展布;当接触角大于 $90^\circ$ ,小液滴将聚并成大水珠而滚落(图2)。

雨水在不同植物表面的形态不同,或完全被雨水湿润,或形成大小不等的弧形或半圆形的水滴黏着在叶片上,或形成球形水珠并只滞留于叶片的平坦处(图3)。将接触角小于



图1 水在固体表面的剖面示意

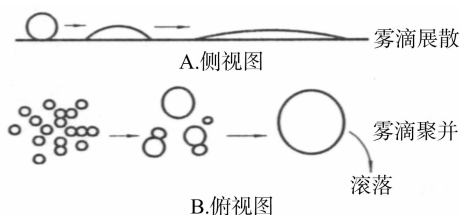


图2 农药雾滴在植物叶面的润湿展布与聚并<sup>[3]</sup>

$90^\circ$ 的植物称为亲水性植物,将接触角大于 $90^\circ$ 的植物称为疏水性植物,显然水稻为疏水性植物。研究表明密布在水稻叶片表面的颗粒状凸起为蜡质与氧化硅的混合物,具有极强的拒水能力<sup>[4-5]</sup>。

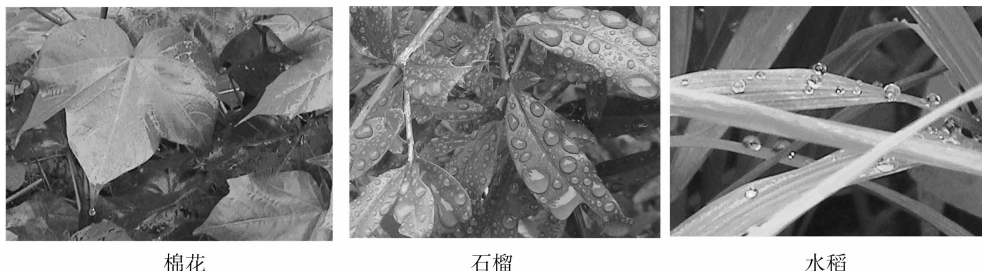


图3 水在3种不同植物叶片表面的形态特性

在界面化学中,只有液体的表面张力小于固体的临界表面张力时,液体才能牢固黏附在固体表面并润湿展布<sup>[6-7]</sup>。表1表明,测定的几个品种水稻的临界表面张力在 $29.9 \sim 36.7 \text{ mN/m}$ 之间,而水的表面张力为 $71.8 \text{ mN/m}$ ,大于水稻的临界表面张力,不能在水稻表面黏附并润湿展布。

收稿日期:2013-03-18

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)3038]。

作者简介:顾中言(1957—),男,江苏无锡人,研究员,主要从事农药应用研究。Tel:(025)84390951;E-mail:guzy@jaas.ac.cn。

表 1 不同水稻品种叶片的临界表面张力值比较

品种	生育期	临界表面 张力 (mN/m)	品种	扬花期 倒 2 叶	临界表面 张力 (mN/m)
扬辐粳 8 号	分蘖期	34.5	南粳 44	正面	29.9
	孕穗期	34.3		反面	31.2
	扬花期	34.3	武运粳 7 号	正面	30.6
武育粳 3 号	分蘖期	34.6		反面	32.2
	太湖粳 2 号	36.7	南京 11	正面	31.0
				反面	31.9
			武香糯 8333	正面	31.9
				反面	32.9

2 常用药剂登记剂量药液的表面张力

表 2 是测定的在水稻上登记的 14 个化合物、52 个产品的药液表面张力值。

总体看,在不同喷雾方式下,大多数药剂登记剂量范围内的药液表面张力大于水稻叶片的临界表面张力,难以在水稻植株表面黏附展布。

从剂型看,乳油的结果较好,除个别外,田间使用浓度的药液可以在水稻叶面黏附并润湿展布。可湿性粉剂,尤其是高含量的可湿性粉剂、水分散粒剂、可溶粉剂、水剂等,在田间使用浓度条件下,药液将因为难以黏附在水稻叶面而流失<sup>[8]</sup>。

表 2 不同药剂推荐剂量药液的表面张力

药剂	机动大水喷射		手动大容量喷雾		机动弥雾喷雾	
	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)
25% 多菌灵可湿性粉剂	333.3 ~ 416.7	30.86	1 000 ~ 1 250	30.86	3 333 ~ 4 167	30.86
50% 多菌灵可湿性粉剂	333.3 ~ 416.7	51.67	1 000 ~ 1 250	51.67	3 333 ~ 4 167	51.67
60% 多菌灵可湿性粉剂	333.3 ~ 416.7	54.2	1 000 ~ 1 250	54.2	3 333 ~ 4 167	54.2
80% 多菌灵可湿性粉剂	333.3 ~ 416.7	63.29	1 000 ~ 1 250	63.18	3 333 ~ 4 167	63.18
20% 三环唑可湿性粉剂	100 ~ 133.3	40.85	300 ~ 400	35.64	1 000 ~ 1 333	33.57
50% 甲基硫菌灵悬浮剂	333.3 ~ 500	35.89	1 000 ~ 1 500	35.89	3 333 ~ 5 000	35.89
70% 甲基硫菌灵可湿性粉剂	333.3 ~ 500	42.20	1 000 ~ 1 500	40.22	3 333 ~ 5 000	40.22
5% 井冈霉素水剂	66.7 ~ 83.3	46.74	200 ~ 250	47.27	667 ~ 833	46.68 ~ 46.53
20% 井冈霉素可溶性粉剂	66.7 ~ 83.3	45.4	200 ~ 250	43.1	667 ~ 833	43.1
2.5% 吡虫啉乳油	6.7 ~ 13.3	35 ~ 40	20 ~ 40	34.6 ~ 31.24	66.7 ~ 133.3	28.35
30% 吡虫啉微乳剂	6.7 ~ 13.3	>47.68	20 ~ 40	47.68 ~ 40.15	66.7 ~ 133.3	37.52 ~ 33.18
20% 吡虫啉可溶性液剂	6.7 ~ 13.3	36 ~ 40	20 ~ 40	32.52 ~ 29.22	66.7 ~ 133.3	29.22
200 g/L 吡虫啉可溶性液剂	6.7 ~ 13.3	47.93 ~ 43.32	20 ~ 40	40.18 ~ 39.29	66.7 ~ 133.3	39.29
60% 吡虫啉悬浮剂	6.7 ~ 13.3	54.5	20 ~ 40	49.72 ~ 48.24	66.7 ~ 133.3	46.58 ~ 43.44
10% 吡虫啉可湿性粉剂	6.7 ~ 13.3	58	20 ~ 40	44.63 ~ 40.54	66.7 ~ 133.3	37.3
20% 吡虫啉可湿性粉剂	6.7 ~ 13.3	64.3 ~ 55.2	20 ~ 40	52.87 ~ 42.79	66.7 ~ 133.3	42.05 ~ 39.09
70% 吡虫啉水分散粒剂	6.7 ~ 13.3	64.01 ~ 61.0	20 ~ 40	57.14 ~ 55.28	66.7 ~ 133.3	48.74 ~ 43.25
70% 吡虫啉水分散粒剂	6.7 ~ 13.3	55 ~ 57	20 ~ 40	54.28 ~ 49.48	66.7 ~ 133.3	47.68 ~ 40.24
70% 吡虫啉水分散粒剂	6.7 ~ 13.3	56	20 ~ 40	51.74 ~ 48.63	66.7 ~ 133.3	46.27 ~ 44.38
25% 吡蚜酮悬浮剂	26.7 ~ 33.3	>65.52	80 ~ 100	60.2 ~ 55.64	226.7 ~ 333.3	51.36 ~ 48.12
25% 吡蚜酮可湿性粉剂	26.7 ~ 33.3	40	80 ~ 100	29.68	226.7 ~ 333.3	29.68
25% 吡蚜酮可湿性粉剂	26.7 ~ 33.3	58.6 ~ 55.48	80 ~ 100	50.17 ~ 49.26	226.7 ~ 333.3	43.24 ~ 41.67
50% 吡蚜酮水分散粒剂	26.7 ~ 33.3	54.65 ~ 60.0	80 ~ 100	48.45 ~ 41.27	226.7 ~ 333.3	38.12 ~ 37.44
1.8% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	36.89	13.3 ~ 20	29.2	44.4 ~ 66.7	29.2
1.8% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	27.67	13.3 ~ 20	27.67	44.4 ~ 66.7	27.67
1.8% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	32.83	13.3 ~ 20	32.83	44.4 ~ 66.7	32.83
3% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	32.45	13.3 ~ 20	27.71	44.4 ~ 66.7	27.71
4% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	34.45	13.3 ~ 20	31.33	44.4 ~ 66.7	31.33
5% 阿维菌素乳油	4.4 ~ 6.7	29.8	13.3 ~ 20	27.33	44.4 ~ 66.7	27.33
1.8% 阿维菌素微乳剂	4.4 ~ 6.7	36.16	13.3 ~ 20	35.22	44.4 ~ 66.7	35.22
4% 阿维菌素微乳剂	4.4 ~ 6.7	34.52 ~ 32.41	13.3 ~ 20	31.28 ~ 29.98	44.4 ~ 66.7	29.13
2% 阿维菌素水乳剂	4.4 ~ 6.7	36.23	13.3 ~ 20	36.23	44.4 ~ 66.7	36.23
3% 阿维菌素水乳剂	4.4 ~ 6.7	35.98	13.3 ~ 20	35.98	44.4 ~ 66.7	35.98
5% 阿维菌素可溶性液剂	4.4 ~ 6.7	>33.44	13.3 ~ 20	33.44	44.4 ~ 66.7	33.44
2% 阿维菌素微胶囊剂	4.4 ~ 6.7	28.59 ~ 30	13.3 ~ 20	28.29	44.4 ~ 66.7	28.29
4% 甲维盐乳油	4.4 ~ 6.7	>28.39	13.3 ~ 20	28.39	44.4 ~ 66.7	28.39
1% 甲维盐微乳剂	4.4 ~ 6.7	28.68	13.3 ~ 20	28.68	44.4 ~ 66.7	28.68
1% 甲维盐微乳剂	4.4 ~ 6.7	42	13.3 ~ 20	38.09	44.4 ~ 66.7	38.09
2.5% 甲维盐微乳剂	4.4 ~ 6.7	28.33	13.3 ~ 20	28.33	44.4 ~ 66.7	28.33

续表 2

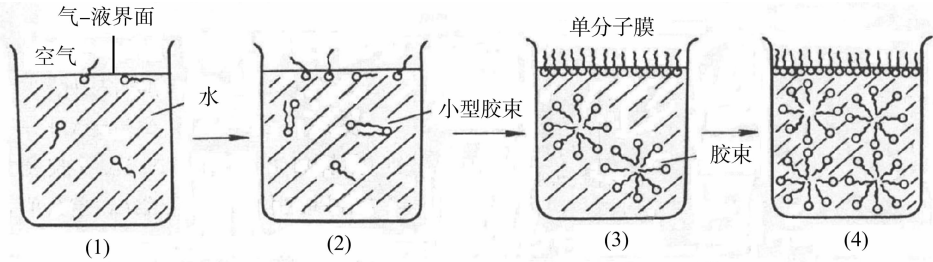
药剂	机动大水喷射		手动大容量喷雾		机动弥雾喷雾	
	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)	药液浓度 (mg/L)	表面张力 (mN/m)
5% 甲维盐水分散粒剂	4.4 ~ 6.7	45.82 ~ 41.22	13.3 ~ 20	40.56 ~ 37.63	44.4 ~ 66.7	36.54 ~ 35.57
5% 甲维盐水分散粒剂	4.4 ~ 6.7	43.3	13.3 ~ 20	42.1	44.4 ~ 66.7	42.1
480 g/L 毒死蜱乳油	266.7 ~ 333.3	30.29	800 ~ 1 000	28.9	2 666.7 ~ 3 333.3	28.9
48% 毒死蜱乳油	266.7 ~ 333.3	31.19	800 ~ 1 000	28.13	2666.7 ~ 3 333.3	28.13
25% 毒死蜱水乳剂	266.7 ~ 333.3	29.84	800 ~ 1 000	29.84	2 666.7 ~ 3 333.3	29.84
30% 毒死蜱微乳剂	266.7 ~ 333.3	30	800 ~ 1 000	30	2 666.7 ~ 3 333.3	30
20% 三唑磷乳油	160 ~ 200	33	480 ~ 600	28.31	1 600 ~ 2 000	28.31
40% 三唑磷乳油	160 ~ 200	30.78	480 ~ 600	30.78	1 600 ~ 2 000	30.78
50% 杀螟丹可溶性粉剂	266.7 ~ 400	62.07 ~ 61.80	800 ~ 1 200	62.45	2 667 ~ 4 000	61.81
36% 杀虫单可溶性粉剂	333.3 ~ 400	>62.39	1 000 ~ 1 200	62.39	3 333 ~ 4 000	62.35
20% 杀虫单水剂	333.3 ~ 400	38	1 000 ~ 1 200	36.31 ~ 35.64	3 333 ~ 4 000	33.67
25% 噻嗪酮可湿性粉剂	50 ~ 66.7	39.5 ~ 38.4	150 ~ 200	37.23 ~ 35.78	500 ~ 667	30.48 ~ 29.04
20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂	6.7 ~ 13.3	46 ~ 51	20 ~ 40	42.58 ~ 36.24	67 ~ 133	35.14 ~ 29.44

注:根据登记剂量和田间药液量计算药液浓度。药液量:大水喷射 2 250 kg/hm<sup>2</sup>;大容量喷雾 750 kg/hm<sup>2</sup>;弥雾喷雾 225 kg/hm<sup>2</sup>。

3 助剂(表面活性剂)的作用

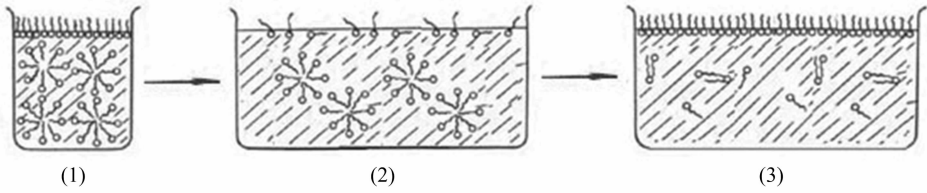
表面活性剂具有亲水、疏水基团,能吸附在气-液界面而降低其溶液的表面张力,当气-液界面的吸附达到饱和时,溶液内部开始形成胶束,达到临界胶束浓度,此时溶液的表面张力最低(图 4)。当气-液界面扩大,吸附在气-液界面上的

表面活性剂分子被稀释,溶液的表面张力升高<sup>[9]</sup>,溶液内部的胶束向气-液界面转移,使气-液界面重新达到饱和和吸附(图 5)。溶液通过喷雾器械形成雾滴后,气-液界面被无限扩大,因此需要溶液内部的表面活性剂达到或超过临界胶束浓度,确保有充足表面活性剂分子使新增气-液界面重新获得饱和和吸附,从而维持由表面活性剂降低了的表面张力。



(1)极低浓度的表面活性剂溶液;(2)低浓度的表面活性剂溶液;  
(3)临界胶束浓度的表面活性剂溶液;(4)大于临界胶束浓度的表面活性剂溶液

图4 不同浓度的表面活性剂溶液



(1)表现活性剂分子在气-液界面饱和和吸附,溶液的表面张力最小;  
(2)气-液界面扩大,界面上的表面活性剂分子被稀释,溶液的表面张力升高;  
(3)溶液内部的胶束向气-液界面转移,表面活性剂分子在气-液界面重新达到饱和和吸附

图5 气-液界面上表面活性剂分子的稀释和吸附

除粉剂和水剂外,绝大多数农药制剂均含有表面活性剂,因此其药液均为表面活性剂溶液。但是,或由于药液内表面活性剂含量太低,不能使气-液界面达到饱和和吸附;或由于喷雾产生大量雾滴导致药液的气-液界面扩大,药液内没有足够的胶束使气-液界面重新达到饱和和吸附;或由于药剂所含的表面活性剂降低表面张力的能力不足,虽然气-液界面达到了饱和和吸附仍不能有效降低药液表面张力,这些都影响了药液在水稻植株上的沉积效率。

因此,在田间施药前,应首先确定喷洒的药液能否黏着或黏附在水稻植株上。为此,作者根据多年的研究结果,设计了《药液在农作物表面黏着展布比对比卡》(图 6),并获得了发明专利和标签的外观设计专利<sup>[10-11]</sup>。



图6 药液在植物表面黏着展布比对比卡

在田间,将水稻叶片水平放置,用配制好的药液点滴或喷洒少量雾滴在叶片表面形成液滴。如果液滴如图 6 中 7 和 8 的形状,则无需加用助剂。如果液滴如图 6 中 6 的形状,需加入少量助剂,使液滴形状如图 6 中 7 和 8 一样。如果液滴如图 6 中 1 至 5 的形状,则需在药液中加入较多的助剂,先加少许,再观察液滴形状,直至图 6 中 7 和 8 的形状即可。

4 药液在水稻植株表面黏附并展布与农药的利用效率

用表面活性剂 TX-10 作为助剂,以生物染料丽春红-G

作为指示剂,测定溶液表面张力对溶液在水稻植株表面沉积率的影响。表 3 是工农-16 型手动喷雾器分别采用“喷雨法”、1.6 mm 喷孔和 1.0 mm 喷孔喷洒 1 000 mL 不同表面张力溶液的沉积率。与 1.6 mm 喷孔和“喷雨法”比较,使用 1.0 mm 喷孔,可提高溶液在水稻植株上的沉积量,但 3 种方法之间的差异不显著。使用 TX-10,将溶液表面张力降至小于水稻临界表面张力,溶液沉积率约 65%,与表面张力大于水稻临界表面张力的清水约 30% 的沉积率相比,差异极显著<sup>[12]</sup>。

表 3 TX-10 对溶液在水稻上沉积率的影响(盆栽)

处理	喷施方法	沉积率(%)					
		I	II	III	IV	V	平均
清水	喷雨法	26.96	34.33	31.48	30.47	24.24	29.50bB
	1.6 mm 喷孔片	26.02	27.31	36.15	27.66	25.72	28.57bB
	1.0 mm 喷孔片	20.37	22.44	39.81	49.74	24.79	31.43bB
TX-10 溶液	喷雨法	42.47	49.74	68.43	71.14	73.23	61.00aA
	1.6 mm 喷孔片	75.63	75.39	71.14	36.13	64.58	64.57aA
	1.0 mm 喷孔片	71.14	72.99	56.77	73.94	83.05	71.58aA

注:用盆栽水稻排成 16 盆×6 盆的长方形,共 288 穴/6 m<sup>2</sup>,计 1 939.2 株水稻,圆秆拔节期;同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

表 4 是采用卫土牌 NS-16 型背负式手动喷雾器(单个空心圆锥雾头,工作压力 0.3~0.4 MPa)喷洒不同表面张力溶液的沉积率。从试验区随机取样的 12 个点的测定结果看,表面张力大于水稻临界表面张力的清水的沉积率在 24.36%~41.82%之间,用 TX-10 降低溶液的表面张力后,溶液的沉积率在 51.59%~87.66%之间<sup>[12]</sup>。

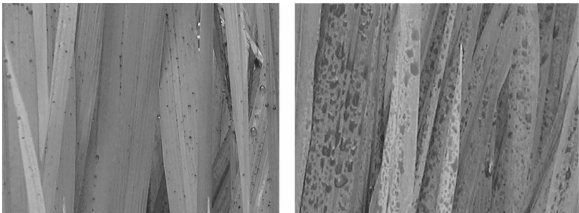
表 4 TX-10 对溶液在水稻上沉积率的影响(田间)

取样号	沉积率(%)	
	清水	TX-10 溶液
1	37.90	59.31
2	40.82	74.71
3	42.28	68.51
4	35.24	83.28
5	42.01	67.65
6	39.40	76.62
7	38.41	70.05
8	40.94	88.11
9	24.46	70.74
10	30.01	52.71
11	33.90	51.85
12	39.66	62.05
平均	37.09B	68.80A

注:1 173 穴/50 m<sup>2</sup>,计 14 369.3 株水稻,孕穗初期。同行不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

从图 7 可以看到, TX-10 溶液喷洒到水稻叶面后,能牢固黏附在水稻叶面并展布,而清水则只有少量以小水珠的形式黏附在叶面,当风吹动稻叶后,这些小水珠会因为运动惯性、叶片间的碰撞和摩擦而振落或挤落,最终只有极少量的雾滴能够持留在水稻叶片上。

因此,药液的表面张力直接关系到药液在水稻植株上的黏连与沉积,当药液的表面张力大于水稻的临界表面张力时,



清水 TX-10溶液

图 7 清水和 TX-10 溶液在水稻叶面的沉积差异

设法降低药液的表面张力有利于提高农药在水稻植株表面的沉积效率,因而可以提高防治效果,减少农药用量。

杀虫单原粉溶于水配成药液,其表面张力大于水稻的临界表面张力,配制的杀虫单微乳剂,其药液的表面张力小于水稻的临界表面张力,杀虫单微乳剂 400 mg/L 对纵卷叶螟的防治效果显著好于杀虫单原粉 800 mg/L(表 5)<sup>[13]</sup>。

表 5 杀虫单微乳剂防治水稻纵卷叶螟的田间效果(2000 年)

杀虫单	浓度 (mg/L)	药后 15 d			
		活虫数 (头)	杀虫效果 (%)	束叶数 (束)	保叶效果 (%)
可溶性原粉	400	17	79.8d	42	72.2e
	600	13	84.5c	33	78.2d
	800	10	88.1c	26	82.8c
微乳剂	400	6	92.9b	17	88.7b
	600	3	96.4ab	12	92.1ab
	800	1	98.8a	9	94.0a
空白对照		84		151	

注:同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平,下同。

在纹曲宁水剂中加用 TX-10,降低药液的表面张力,增加了枯草芽孢杆菌在水稻表面的滞留量,提高了对水稻纹枯病的防治效果(表 6)<sup>[14]</sup>。

表 6 纹曲宁防治水稻纹枯病的大田示范效果(2003 年)

喷雾器具	处理	药后 10 d		药后 20 d	
		发病率(%)	防效(%)	发病率(%)	防效(%)
弥雾机	纹曲宁 3 000 mL/hm <sup>2</sup>	16.33	53.78b	23.17	61.81b
	纹曲宁 3 000 mL/hm <sup>2</sup> + TX - 10	8.17	76.88a	11.33	81.33a
手动喷雾器	纹曲宁 3 000 mL/hm <sup>2</sup>	15.67	55.65b	19.17	68.40b
	纹曲宁 3 000 mL/hm <sup>2</sup> + TX - 10	7.50	78.77a	8.83	85.45a
空白对照(CK)		35.33			60.67

本实验室配制的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂,使用浓度的药液的表面张力小于水稻的临界表面张力,与药液的表面张力大于水稻的临界表面张力的乳油相比,提高了对盆栽水稻二化螟的防治效果(表 7)<sup>[15]</sup>。

水分散粒剂是近年来发展较快的环境友好型农药剂型,但该剂型农药的含量高,助剂用量少,田间使用浓度药液的表面张力往往大于水稻的临界表面张力,影响防治效果。在 5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂的药液中加入 TX - 10 助剂,降低了药液表面张力,提高了对纵卷叶螟的防治效果(表 8)。

表 7 甲维盐微乳剂防治二化螟盆栽试验结果(2009 年)

药剂	浓度 (mg/L)	总苗数 (株)	保苗效果(%)		
			螟害数 (株)	螟害率 (%)	校正防效 (%)
0.5% 甲维盐微乳剂	4	32.00	2.00	6.25b	73.21b
	8	34.00	2.00	5.88b	74.79b
	12	31.67	1.00	3.16b	86.47a
1% 甲维盐乳油	4	34.33	4.33	12.62a	45.91c
	8	38.33	4.00	10.43a	55.28c
	12	34.00	2.00	6.25b	74.79b
对照	清水	48.67	23.33	47.95	-

表 8 5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐防治纵卷叶螟田间效果(2011 年)

处理	表面张力 (mN/m)	药后 7 d		药后 18 d	
		卷叶率 (%)	保叶效果 (%)	卷叶率 (%)	保叶效果 (%)
水分散粒剂 45 g/hm <sup>2</sup>	45.3	0.67	74.97ab	3.06	36.10c
水分散粒剂 45 g/hm <sup>2</sup> + TX - 10	29.8	0.94	64.90bc	2.12	55.75bc
水分散粒剂 90 g/hm <sup>2</sup>	41.3	1.13	57.88c	2.68	44.04bc
水分散粒剂 90 g/hm <sup>2</sup> + TX - 10	29.8	0.59	78.02a	0.97	79.76a
水分散粒剂 135 g/hm <sup>2</sup>	41.3	1.53	43.23d	1.97	58.92b
水分散粒剂 135 g + TX - 10	29.8	0.96	64.29bc	0.92	80.75a
对照		2.69		4.79	

注:弥雾下倾喷雾,药液量 225 kg/hm<sup>2</sup>。

在稻田农药使用中,药液能否牢固黏着在水稻植株表面并展布直接影响农药的利用效率,从而关系到田间防治效果和农药用量。将药液点滴在水稻表面形成液滴,通过《药液在农作物表面黏着展布比对卡》确定是否需要加用助剂,对于接触角较大的液滴通过在药液中加入助剂,增加药液在水稻表面黏着并展布的能力,有利于提高农药的使用效率。

参考文献:

[1] 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.

[2] 顾中言, 许小龙, 韩丽娟. 一些药液难在甘蓝、水稻和小麦表面润湿展布的原因分析[J]. 农药学报, 2002, 4(2): 75 - 80.

[3] 屠豫钦. 农药使用技术标准化[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 166 - 170.

[4] 屠豫钦, 李秉礼. 农药应用工艺学导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 132 - 368.

[5] 王淑杰, 任露露, 韩志武, 等. 植物叶表面非光滑形态及其疏水特性的研究[J]. 科技通报, 2005, 21(5): 553 - 556.

[6] 刘程, 张万福, 陈长明. 表面活性剂应用手册[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1996.

[7] 顾中言, 许小龙, 韩丽娟. 表面活性剂在农药使用中的作用研究

[J]. 现代农药, 2003, 2(4): 21 - 23, 42.

[8] 徐广春, 顾中言, 徐德进, 等. 常用农药在水稻叶片上的润湿能力分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1731 - 1740.

[9] 顾中言, 许小龙, 韩丽娟. 杀虫剂药液中表面活性剂的临界胶束浓度及表面张力[J]. 江苏农业学报, 2002, 18(2): 89 - 93.

[10] 顾中言, 徐广春, 徐德进, 等. 农药药液粘着展布效果检测方法及其应用的比对卡: 中国, CN201110030947.3[P]. 2011 - 09 - 07.

[11] 顾中言, 徐广春, 徐德进, 等. 标贴(粘着展布对比卡): 中国, CN201130018599.9[P]. 2011 - 06 - 29.

[12] 顾中言, 陈明亮, 许小龙, 等. 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[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(4): 394 - 397.

[13] 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[J]. 江苏农业学报, 2002, 18(4): 218 - 222.

[14] 顾中言, 唐为爱, 陈志谊, 等. 表面活性剂对生物农药纹曲宁抑菌活性和防病效果的影响[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(3): 162 - 166.

[15] 范鹏, 顾中言, 徐德进, 等. 甲维盐微乳剂药液在水稻叶面的行为分析[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(5): 503 - 508.