

复合型助剂对不同除草剂的增效作用

姚中统, 陶波*, 李松宇

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要 本文利用田间试验及仪器分析的方法系统研究了不同类型助剂对除草剂的增效作用。结果表明,供试的几种助剂对草甘膦都具有明显的增效作用,其增效顺序为:复合型助剂>甲酯化植物油>有机硅助剂>非离子表面活性剂>葡萄糖助剂>氮盐类助剂。复合型助剂能够明显降低草甘膦药液的表面张力及干燥时间,降低幅度可达30%以上,并且明显增加药液的扩展直径、黏度及其在叶片上的最大持留量,增加率均在40%以上。因此表明复合型助剂对草甘膦具有明显的增效作用。并且,复合型助剂对烯草酮乳油及莠去津悬浮剂具有明显的增效作用(株防效分别增加至少9.34%、10.41%),并且随着助剂添加量越高,增效越强。

关键词 复合型助剂; 增效作用; 物理性状; 除草活性

中图分类号: S 482.4 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019044

Synergistic effect of compound adjuvant on different herbicides

YAO Zhongtong, TAO Bo*, LI Songyu

(College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract Synergistic effect of different types of adjuvants on herbicides was systematically investigated by field experiment and instrumental analysis. The results showed that different adjuvants had obvious synergistic effects on glyphosate, and the order of synergistic effect was: compound adjuvant > methylated vegetable oil > organosilicone adjuvant > nonionic surfactant > glucose adjuvant > nitrogen salts adjuvant. Compound adjuvant could significantly reduce the surface tension and drying time of glyphosate with the reduction rate of more than 30%, and significantly increase the spreading diameter, viscosity and maximum retention of the herbicide on the leaves with an increase rate of more than 40%. Therefore, the results showed that the compound adjuvant had a significant synergistic effect on glyphosate. In addition, the compound adjuvant had synergistic effect on clethodim EC and atrazine SC, and the plant control efficacy was increased by at least 9.34% and 10.41%, respectively. The higher the adjuvant amount, the more obvious the synergistic effect.

Key words compound adjuvant; synergism; physical property; herbicidal activity

化学农药目前仍是防治农业有害生物的主要途径。截至2018年,全球除草剂、杀虫剂、杀菌剂的市场份额分别为42.7%、28.4%、25.3%^[1-3]。我国目前的农药使用中除草剂占比亦为最高,为30%^[4-5]。而助剂在提高除草剂药效、降低施药量、提高稳定性及安全性等方面都具有一定的效果^[6-8],因此近年来助剂的研发与应用受到越来越多的关注^[9]。目前常用的除草剂助剂主要包括油类助剂(植物油乳剂、矿物油乳剂、人工合成酯类等)、无机盐类助剂(铵盐类、钾盐类等)、表面活性剂(离子型、非离子型、阳离子型)、有机硅助剂以及糖类助剂等^[10-11]。

助剂可以通过改善除草剂药液的物理性状来提高其除草活性^[12]。一般来说,助剂可以改变药液的表面张力、pH、扩展直径、黏度,及其在叶片上的持留量,从而促进杂草叶片对除草剂的吸收,最终提高除草效果。陶波等研究发现糖类助剂可以降低药液的表面张力使除草剂的药效提高23%以上^[13]。苏少泉^[14],McMullan^[15]研究发现一些除草剂易在特定pH下分解。肥类助剂如铵盐可以改变除草剂药液的pH从而促进除草剂的溶解并防止其降解,提高除草效果^[14-15]。滕春红等研究发现有机硅助剂可以使38%莠去津悬浮剂药液的扩展直径增加23%。

并可使叶片上的药液持留量增加 33% 以上;常规剂量莠去津悬浮剂添加助剂后对阔叶杂草的防效可提升 40%^[16]。鲁梅研究发现甲酯化植物油助剂可以增加药液的黏度,使 4% 烟嘧磺隆悬浮剂和 5% 精喹禾灵乳油的除草活性分别提高 30% 和 20% 以上^[17]。上述试验结论都充分说明了助剂通过改善除草剂药液的物理性状来提高药效。助剂种类不同,影响程度便不同,增效作用就存在差异。复合型助剂是一种由多类型助剂复配而成的新型助剂,其对除草剂的增效作用还未见报道。相较于其他类型助剂,其是否具备更好、更全面的增效作用还需要进一步研究。

本文采用田间试验及仪器分析的方法研究了不同类型助剂对不同除草剂的增效作用,并系统地探究了一种新型复合型助剂对除草剂药液物理性状的影响,并进一步研究了其对不同剂型除草剂的增效作用。通过本研究可以提高除草剂药效、丰富助剂品种,并且为新型助剂的推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试药剂

41% 草甘膦水剂(AS),兴农药业中国有限公司;24% 烯草酮乳油(EC),衡水北方农药化工有限公司;38% 莠去津悬浮剂(SC),山东乐邦化学有限公司;非离子表面活性剂水剂(AS),九江菲蓝新材料有限公司;甲酯化植物油乳油(EC),哈尔滨淄博农业科技公司;有机硅助剂水剂(AS),安徽艾约塔硅油有限公司;葡萄糖助剂,山东诚邦化工有限公司;氮盐类助剂,深圳诺普信农化股份有限公司;复合型助剂水剂(AS),东北农业大学。复合型助剂为本实验室研制,主要成分包括蔗糖、钾盐等,无除草剂成分。目前并未上市。

1.1.2 供试仪器

DT-102 型全自动界面张力仪,淄博华坤电子仪器有限公司;WS-16P 型喷雾器,山东卫士植保机械有限公司;370831Z 型移液枪,大龙兴创实验仪器(北京)有限公司;

GT-201 型显微镜,北京上光仪器有限公司;JA3003B 型万分之一电子天平,德国梅勒托-托利多公司;恒温光照培养箱,广东省医疗器械厂;玻璃仪器,天津玻璃仪器制造厂。

1.1.3 防除杂草

禾本科杂草:稗草 *Echinochloa crus-galli* L., 野黍 *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth., 狗尾草 *Setaria viridis* (L.) Beauv., 马唐 *Digitaria sanguinalis* L. 等。

阔叶杂草:苍耳 *Xanthium strumarium* L., 反枝苋 *Amaranthus retroflexus* L., 龙葵 *Solanum nigrum* L., 苘麻 *Abutilon theophrasti* Medicus 等。

防效指对两大类杂草分别的综合防效。

1.2 试验设计

1.2.1 不同类型助剂对草甘膦增效作用的筛选

挑选饱满、大小一致的若干粒苘麻种子,于 50℃ 水中浸泡 2 h 后置于 26℃ 的恒温培养箱中催芽(避光)。挑选长势近似的 12 粒露白种子种于花盆中(口径 10 cm),覆细土定期观察浇水,待苘麻长至 4~5 叶期进行茎叶喷雾处理,设清水对照,每个处理重复 5 次,处理后 15 d 调查目测防效,25 d 后调查株防效及鲜重防效。供试除草剂 41% 草甘膦 AS 的有效成分用量为 700 g/hm²,喷液量 300 L/hm²,各类助剂添加量(V/V)分别为非离子表面活性剂 0.25%,甲酯化植物油 1%,有机硅助剂 0.3%,葡萄糖助剂 0.05%,肥类助剂(氮盐)1%,复合型助剂 0.03%。

1.2.2 复合型助剂对草甘膦药液物理性状的影响

将 41% 草甘膦 AS 按照有效成分用量 700 g/hm²,喷液量为 300 L/hm² 配制成 100 mL 草甘膦药液 6 份,置于烧杯中,将复合型助剂加入药液中,助剂添加量(V/V)分别为 0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%,混合均匀。

参照 GB/T 5549—2010 方法^[18],采用全自动界面张力仪测定表面张力。

用微量移液枪取各药液 5 μL 滴在载玻片表面^[19],5 min 后在显微镜下测定上述药液的最大和最小直径,取两者平均值为液滴直径。

用微量移液枪分别取上述药液 5 μL 滴于载玻片表面,在相同环境条件下记录除草剂液滴的干燥时间^[20]。

用 NDJ-1 黏度计(0 号转子,60 r/min)测量药液黏度^[21]。

剪取苘麻叶片(见 1.2.1),用万分之一分析天平称重(W₀),喷雾器距离叶片 30 cm 高开始喷雾,至药液从叶片流淌即停止喷雾,等到药液不再从叶片流失时称重(W₁),用叶面积仪测定叶片的面积

(S), 计算叶片的最大稳定持留量 $R(\text{mg}/\text{cm}^2)^{[22]}$ 。

$$R = (W_1 - W_0) \times 1000 / S。$$

上述各试验重复 3 次取均值。

1.2.3 复合型助剂对不同除草剂的增效作用

试验设在东北农业大学试验基地向阳农场, 土壤为黑壤土(有机质含量 4%~5%, pH=6.80)。

供试除草剂及用量: 41% 草甘膦 AS 有效成分用量分别为 700、900、1 200 g/hm²; 24% 烯草酮 EC 有效成分用量分别为 54、72、108 g/hm²; 38% 莠去津 SC 有效成分用量分别为 900、1 200、1 800 g/hm²。小区面积 20 m², 3 次重复, 随机区组排列。

田间供试杂草见 1.1.3。禾本科杂草 3~5 叶期, 阔叶杂草 4~5 叶期进行茎叶处理, 喷液量为 300 L/hm²。复合型助剂添加量 (V/V) 分别为 0.01%、0.03%、0.05%。复合型助剂只添加于各除草剂的低剂量及中剂量处理, 除草剂高剂量不添加复合型助剂。设置清水对照。施药后第 15 天和第 28 天, 于小区内取 3 个调查点(样点面积 0.5 m²), 记录杂草发生种类、数量, 记录目测防效, 并计算株防效及鲜重防效。

1.3 数据处理及分析方法

鲜重防效=(对照区存活杂草鲜重-处理区存活杂草鲜重)/对照区存活杂草鲜重×100%; 株防效=(对照区存活杂草株数-处理区存活杂草株数)/对照区存活杂草株数×100%。

调查记录的数据利用 Excel、DPS 软件进行分析处理, 差异显著性采用 Duncan 氏新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同类型助剂对草甘膦增效作用筛选

由表 1 可知, 6 种助剂能够不同程度地增加 41% 草甘膦 AS 700 g/hm² 对阔叶杂草苘麻的防除效果, 其中复合型助剂、甲酯化植物油助剂、有机硅助剂的增效效果最为显著, 41% 草甘膦 AS 700 g/hm² 加入这 3 种助剂后对苘麻的株防效及鲜重防效均可增加 50% 以上, 其中复合型助剂增效作用最强, 对苘麻的株防效及鲜重防效分别增加 57.40% 和 57.54%; 葡萄糖助剂的增效作用略差, 加入该类助剂后药剂对苘麻的株防效及鲜重防效增效 27% 左右; 氮盐类助剂的增效作用较低。试验效果表明 6 种助剂均能显著提高除草剂药效, 其中复合型助剂的增效作用最明显。

表 1 助剂对 41% 草甘膦水剂的增效作用

Table 1 Synergistic effect of adjuvants on glyphosate 41% AS

草甘膦有效成分用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingredient dosage of glyphosate	助剂种类 Type of adjuvant	助剂用量/% Dosage of adjuvant	株防效/% Plant control efficacy	增效/% Increase rate	鲜重防效/% Fresh weight control efficacy	增效/% Increase rate
700	—	—	50.64 d	—	51.91 d	—
700	氮盐类助剂	1	63.75 c	25.89	65.32 c	25.83
700	葡萄糖助剂	0.05	64.33 c	27.03	66.26 bc	27.64
700	非离子表面活性剂	0.25	70.28 b	38.78	69.37 b	33.64
700	有机硅助剂	0.3	76.16 a	50.39	79.78 a	53.69
700	甲酯化植物油	1	78.22 a	54.46	80.48 a	55.04
700	复合型助剂	0.03	79.71 a	57.40	81.78 a	57.54

2.2 复合型助剂对草甘膦药液物理指标的影响

由图 1a 看出, 加入复合型助剂后, 草甘膦药液的表面张力显著降低, 并且添加量越高, 降低越明显。未加入助剂时, 药液的表面张力为 30.18 mN/m, 添加复合型助剂后, 草甘膦药液的表面张力下降率为 16.67%~31.35%。药液的表面张力下降, 可以提升药液在叶片上的扩展直径, 使其在叶片上得到良好的展布, 促进叶片对除草剂的吸收。如图 1b 所示, 复合型助剂能够增加草甘膦药液的扩展直径, 且随着助剂添加量的不断增加, 药液的扩散能力亦不断增强。复合型助剂添加量 (V/V, 下同) 为 0.01%

时, 药液扩展直径比单剂处理增加了 16.11%; 添加量为 0.05% 时, 草甘膦药液扩展直径比单剂处理增加了 42.86%。添加复合型助剂后, 草甘膦药液的黏度有所增加, 但助剂对药液黏度的影响规律与对表面张力的影响存在差异, 且大致呈相反的趋势(图 1c): 添加量为 0.01% 时, 草甘膦药液黏度比单剂处理增加了 12.59%; 添加量为 0.05% 时, 药液黏度可增加 42.76%。复合型助剂对草甘膦药液黏度的提升, 可有效降低草甘膦药液在杂草叶片表面的干燥时间, 如图 1d, 加入复合型助剂后, 药液的干燥时间降低, 且随着助剂添加量越高, 降低愈明显, 添加量

为 0.01%~0.05% 时,药液干燥时间比单剂处理减少 15.40%~50.00%。添加复合型助剂后,草甘膦药液的表面张力、扩展直径、黏度发生变化的同时也影响到了药液在苘麻叶片上的持留量,图 1e 显示在

添加复合型助剂后,草甘膦药液在叶片上的最大持留量显著增加,且随着添加量的增加,增效作用愈加明显,添加量为 0.01%~0.05% 时,药液的最大持留量比单剂处理增加了 17.71%~53.12%。

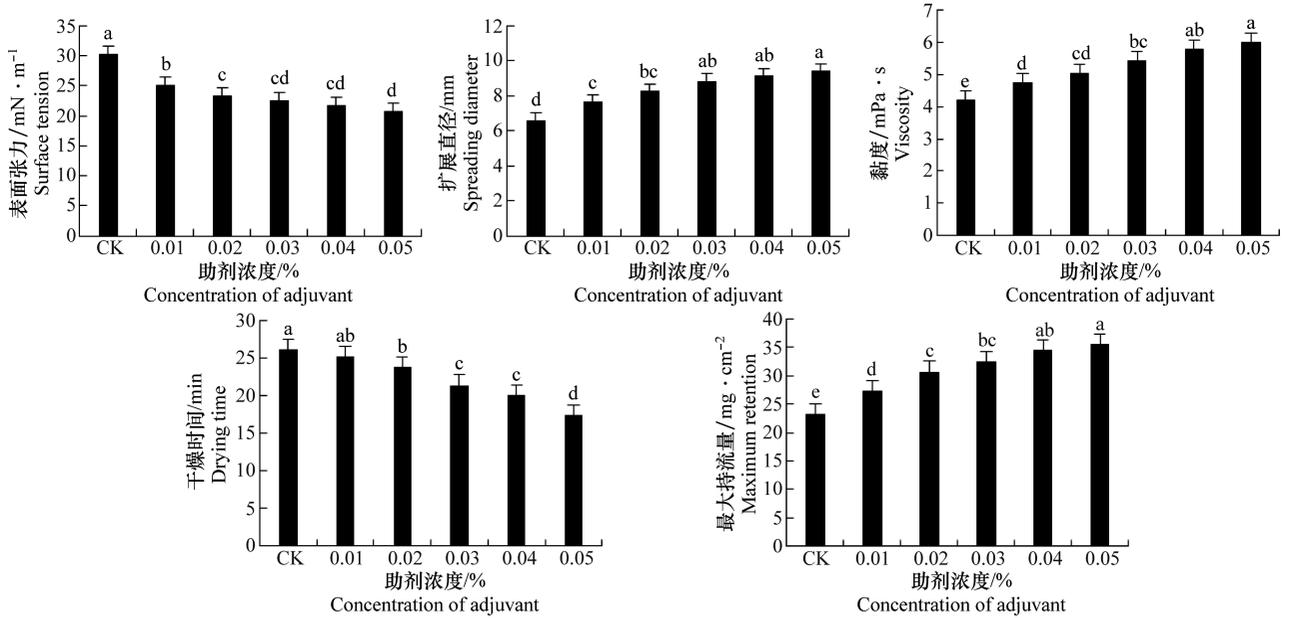


图 1 复合型助剂对 41% 草甘膦水剂药液物理性状的影响

Fig. 1 Effect of compound adjuvant on physical properties of glyphosate 41% AS

2.3 复合型助剂对不同除草剂的增效作用

2.3.1 复合型助剂对 41% 草甘膦水剂的增效作用

由表 2 可知,在除草剂剂量相同条件下,随着助剂量的增加,增效作用明显增加。复合型助剂添加量为 0.01%~0.05% 时,对 41% 草甘膦 AS 的增效作用可达到 16.72%~38.61%。在不同除草剂剂量条件下,复合型助剂的增效作用也存在差异:41% 草甘膦 AS 用量为 700 g/hm² 时复合型助剂的增效作用更明显。

2.3.2 复合型助剂对 24% 烯草酮乳油的增效作用

由表 3 可知,在除草剂剂量相同条件下,随着助剂量的增加,增效作用明显增加。复合型助剂添加量为 0.01%~0.05% 时,24% 烯草酮 EC 的除草活性可提高 12.28%~44.78%。在不同除草剂剂量条件下,复合型助剂的增效作用也存在差异:24% 烯草酮 EC 用量为 54 g/hm² 时,复合型助剂的增效作用更明显。

表 2 复合型助剂对 41% 草甘膦水剂的增效作用

Table 2 Synergistic effect of compound adjuvant on glyphosate 41% AS

草甘膦有效成分用量/ g·(hm ²) ⁻¹ Active ingredient dosage of glyphosate	助剂用量/% Dosage of adjuvant	阔叶杂草鲜重防效/% Fresh weight control efficacy on broadleaf weed	增效/% Increase rate	禾本科杂草鲜重防效/% Fresh weight control efficacy on grass weeds	增效/% Increase rate
700	—	61.48 f	—	63.86 e	—
700	0.01	75.23 e	22.37	77.72 d	21.70
700	0.03	81.32 d	32.27	80.54 d	26.12
700	0.05	85.22 c	38.61	87.55 c	37.10
900	—	75.76 e	—	77.28 d	—
900	0.01	88.43 bc	16.72	90.15 c	16.66
900	0.03	91.37 b	20.60	93.82 b	21.41
900	0.05	96.45 a	27.31	97.89 a	26.67
1 200	—	95.66 a	—	93.78 b	—

表 3 复合型助剂对 24%烯草酮乳油的增效作用

Table 3 Synergistic effect of compound adjuvant on clethodim 24% EC

烯草酮有效成分用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingredient dosage of clethodim	助剂用量/% Dosage of adjuvant	株防效/% Plant control efficacy	增效/% Increase rate	鲜重防效/% Fresh weight control efficacy	增效/% Increase rate
54	—	58.38 f	—	59.88 g	—
54	0.01	77.23 de	32.29	79.81 ef	33.29
54	0.03	80.33 d	37.60	83.20 de	38.94
54	0.05	84.52 c	44.78	86.13 cd	43.84
72	—	76.08 e	—	77.26 f	—
72	0.01	85.42 c	12.28	87.63 c	13.42
72	0.03	91.23 b	19.92	93.83 b	21.45
72	0.05	95.37 a	25.36	97.78 a	26.56
108	—	89.08 b	—	91.79 b	—

2.3.3 复合型助剂对 38%莠去津悬浮剂的增效作用

由表 4 可知,在除草剂剂量相同条件下,随着助剂剂量的增加,增效作用明显增加。复合型助剂添加量为 0.01%~0.05%时,对 38%莠去津 SC 的增效

作用可达到 16.32%~30.76%。在不同除草剂剂量条件下,复合型助剂的增效作用也存在差异:38%莠去津 SC 用量为 1 200 g/hm² 时,复合型助剂的增效作用更明显。

表 4 复合型助剂对 38%莠去津悬浮剂的增效作用

Table 4 Synergistic effect of compound adjuvant on atrazine 38% SC

莠去津有效成分用量/ g · (hm ²) ⁻¹ Active ingredient dosage of atrazine	助剂用量/% Dosage of adjuvant	株防效/% Plant control efficacy	增效/% Increase rate	鲜重防效/% Fresh weight control efficacy	增效/% Increase rate
900	—	63.77 g	—	65.94 g	—
900	0.01	74.18 f	16.32	76.84 ef	16.53
900	0.03	77.93 e	22.20	79.54 e	20.62
900	0.05	82.26 d	28.99	84.23 d	27.74
1 200	—	73.61 f	—	75.56 f	—
1 200	0.01	88.32 c	19.98	90.18 c	19.35
1 200	0.03	93.12 ab	26.50	94.73 b	25.38
1 200	0.05	96.25 a	30.76	98.43 a	30.27
1 800	—	90.13 bc	—	92.65 bc	—

3 结论与讨论

油类助剂最显著的特点是可以改善除草剂药液的黏度,增加其在叶片上的渗透性,从而促进杂草叶片更好地吸收除草剂,提高除草剂药效^[23]。肥类助剂一般是通过改善药液的 pH 防止某些特定的除草剂降解并且促进其溶解^[24]。有机硅助剂则是通过改善药液的扩展直径,进而加大药液在叶片上的润湿速率及面积,促进吸收,提高除草活性^[25]。表面活性剂是通过降低药液的表面张力,进而提高药液喷雾的接触面积,促进杂草叶片对药液的吸收,提高除草效果^[26]。不同助剂的影响机制不同,但增效作用都较为单一。本研究表明复合型助剂能够明显改善药液的物理性状:复合型助剂添加量为 0.01%~0.05%时,41%草甘膦水剂药液表面张力下降率可达 16.67%~31.35%;扩展直径增加率为 16.11%

~42.86%;黏度提升率为 12.59%~42.76%;药液干燥时间可减少 15.40%~50.00%;药液最大持留量增加了 17.71%~53.12%。其增效效果显著优于单一助剂,且增效性能更为综合。因此 6 种助剂中复合型助剂可以最好地促进叶片对药液的吸收。本文研究结果表明:6 种助剂对 41%草甘膦 AS 均具有明显的增效作用;其中复合型助剂的增效作用最强,添加复合型助剂后,药剂对苘麻的株防效提高 29.07%,鲜重防效提高 29.87%。其后依次为甲酯化植物油、有机硅助剂、非离子表面活性剂、葡萄糖助剂、氮盐类助剂。

在实际田间试验中,往往通过添加助剂提高除草剂的药效:刘小民等研究发现,GY 系列助剂与 40%烟嘧磺隆可分散油悬浮剂减量 40%混施后取得的除草效果与对照处理(40%烟嘧磺隆可分散油悬浮剂单剂不做减量处理)相当^[27];李贵等研究证

实通过添加助剂 HA(用量 0.2%, 实验室自制)可以提高 10% 硝磺草酮悬浮剂对杂草的除草活性(相比于对照处理防效提高 10%)。有助于降低硝磺草酮的使用量^[28]; 施秀飞等研究发现甲基化植物油对 40% 环磺酮· 莠去津悬浮剂防除玉米田杂草具有很好的增效作用。第 30 天调查发现, 添加甲基化植物油的处理对杂草防效最高可达 100%, 优于单剂处理^[29]。添加复合型助剂可以明显提高草甘膦水剂、烯草酮乳油、莠去津悬浮剂的除草活性(防效至少分别增加 12.67%、9.34%、10.41%), 且在供试范围内, 复合型助剂添加量越高, 增效作用越明显。

本研究发现, 复合型助剂对 3 种不同剂型除草剂均具有增效作用, 这是因为复合型助剂的组成成分较多, 可以同时改善药液的多种物理性状, 弥补由于除草剂剂型本身造成的不足, 促进叶片对除草剂的吸收, 提高药效。具体来说, 对 38% 莠去津悬浮剂具有增效作用是因为复合型助剂可以进一步增加药液液滴在叶片上的黏着性, 降低药液表面张力, 同时提高液滴在叶片上的扩展面积及渗透性。对于 24% 烯草酮乳油的增效作用可能是因为乳油这种剂型本身就可以溶解叶片的蜡质层, 具有很高的渗透性, 通过添加复合型助剂可以进一步增加药液的扩展和润湿能力, 促进杂草叶片对药液的进一步吸收。而对于 41% 草甘膦水剂来说, 通常这种剂型的除草剂药液的表面张力较高, 扩展面积以及干燥时间都会受到影响, 进而影响药效, 添加复合型助剂最主要的功能就是可降低药液的表面张力, 增加药液在叶片上的扩展面积, 缩短干燥时间, 复合型助剂的加入大大改善了水剂剂型由于自身原因不易被杂草叶片吸收的缺陷。

参考文献

- [1] 杨益军. 2019 年全球农药市场状况与主要特点分析[J]. 农药科学与管理, 2019, 40(8): 13-19.
- [2] 陈晓明, 王程龙, 薄瑞. 中国农药使用现状及对策建议[J]. 农药科学与管理, 2016, 37(2): 4-8.
- [3] 陶波. 除草剂药害应对方法探讨[J]. 种子科技, 2006, 34(7): 92-93.
- [4] HEAP I M. International survey of herbicide-resistant weeds [J]. Weed Technology, 1990, 4(1): 220.
- [5] 冯程程, 马红. 除草剂应用现状及挑战[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 111-113.
- [6] 蒋凌雪, 马红, 陶波. 农药助剂的安全性评价[J]. 农药, 2009, 48(4): 235-238.
- [7] 张宗俭, 张春华. 农药助剂研发进展及在农药减量增效行动中的作用[C]//陈万权. 绿色植保与乡村振兴. 北京: 中国农业科技出版社, 2018.
- [8] 龙建平, 李忠华, 安伟良, 等. 助剂对磺草酮增效作用的研究[J]. 杂草科学, 2005(1): 1-2.
- [9] 张靖, 吕和平, 曹立冬, 等. 六种喷雾助剂提高莠去津防除稗草及反枝苋效果的作用机理初探[J]. 农药学报, 2015, 17(3): 348-356.
- [10] 毛同艳, 刘配军, 金辉. 除草剂与几种助剂对玉米田杂草防效分析[J]. 农业科技通讯, 2018(6): 71-73.
- [11] 吴志凤, 刘贤进. 我国农药助剂工业发展与管理概况[J]. 农药科学与管理, 2014, 35(12): 23-26.
- [12] 鲁梅, 王金信, 王云鹏, 等. 除草剂助剂对药液物理性状及对磺草酮药效的影响[J]. 农药学报, 2004, 6(4): 78-82.
- [13] 陶波, 韩玉军. 糖类助剂对除草剂增效作用的研究[C]//青海: 第九届全国杂草科学大会论文摘要集, 2009: 73-74.
- [14] 苏少泉. 除草剂助剂及其应用[J]. 农药研究与应用, 2007(5): 3-7.
- [15] MCMULLAN P M. Utility adjuvants [J]. Weed Technology, 2000, 14: 729-797.
- [16] 滕春红, 张利斌, 王谦玉, 等. 有机硅助剂对莠去津增效作用的研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(1): 71-76.
- [17] 鲁梅. 甲酯化植物油类助剂对除草剂增效作用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
- [18] 中国石油和化学工业协会. 表面活性剂: 用拉起液膜法测定表面张力: GB/T 5549-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [19] 石妍, 梁颂捷, 张珊珊, 等. 助剂对异菌脲防治烟草灰霉病的增效作用研究[J]. 现代农药, 2018, 17(4): 12-14.
- [20] 张利斌, 张庆贺, 韩玉军, 等. 药液表面张力和黏度对草甘膦药效的影响及其机理研究[J]. 植物保护, 2011, 37(5): 160-163.
- [21] 刘辉, 张利斌, 陶波. 药液表面张力和粘度对苯达松水剂生物活性及增效机理的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(10): 150-154.
- [22] 李亦松, 王俊刚, 王少山, 等. 甲酯化油助剂对氯虫苯甲酰胺在甘蓝叶片上沉积的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 105-109.
- [23] 华乃震. 油类助剂及油类在农药中的应用和前景(I)[J]. 农药, 2013, 52(1): 7-10.
- [24] LJILJANA R, SLAVICA G, JELENA G U, et al. Impact of different adjuvants and modes of application on efficacy of rimsulfuron in maize [J]. Pesticidi i Fitomedicina, 2011, 26(3): 255-263.
- [25] SINGH D, SINGH M. Absorption and translocation of glyphosate with conventional and organosilicone adjuvants [J]. Weed Biology Management, 2010, 8(2): 104-111.
- [26] 王波, 宋坚利, 曾爱军, 等. 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[J]. 农药学报, 2012, 14(3): 334-340.
- [27] 刘小民, 许贤, 李秉华, 等. 喷雾助剂在烟嘧磺隆减量防治玉米田杂草中的应用研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(4): 156-161.
- [28] 李贵, 王一专, 且增旺加, 等. 助剂 HA 对玉米田茎叶处理除草剂活性的影响[J]. 杂草科学, 2011, 29(2): 47-50.
- [29] 施秀飞, 刘显良, 李俊凯, 等. 甲基化植物油对环磺酮· 莠去津防除玉米田杂草的增效作用[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(1): 85-88.