

磺酰脲类除草剂对抗性油菜田间杂草的防除效果及安全性评价

张维, 浦惠明, 胡茂龙, 张洁夫, 朱红利, 高建芹*
(江苏省农业科学院经济作物研究所, 江苏 南京, 210014)

摘要: 草害是影响油菜产量和品质的重要因素之一, 种植抗除草剂品种, 配合化学除草是解决油菜田杂草防治最经济有效的方法。为筛选适合抗除草剂油菜新品种搭配使用的除草剂, 本研究以非转基因抗磺酰脲类除草剂油菜新种质 M342 为材料, 比较了苯磺隆等 11 种磺酰脲类除草剂的防除效果和安全性。结果显示, 11 种磺酰脲类除草剂对油菜田杂草的鲜重防效均在 70% 以上, 均能显著降低杂草对氮、磷、钾和水分的消耗。啶磺隆对 M342 有严重药害, 喷施后植株腐烂并逐渐坏死。苄嘧磺隆和氟唑磺隆也对 M342 的产量有显著影响, 分别比人工除草对照减产 6.22% 和 16.59%。其余 8 种磺酰脲类除草剂对 M342 的产量均无显著影响, 可应用于抗磺酰脲类除草剂油菜新品种田间杂草的防除。

关键词: 磺酰脲类; 非转基因; 抗除草剂油菜; 杂草防效; 安全性

中图分类号: S451.22+4; S565.4

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2023)02-0334-07

Weed control and safety evaluation of sulfonylurea herbicides in resistant rapeseed field

ZHANG Wei, PU Hui-ming, HU Mao-long, ZHANG Jie-fu, ZHU Hong-li, GAO Jian-qin*
(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

Abstract: Weed control is one of the important factors affecting yield and quality of rapeseed. Planting herbicide-resistant rapeseed combined with herbicide application is the most economical and effective method in field. To find out the optimal herbicide for the new non-transgenic rapeseed germplasm M342 (resistance to sulfonylurea herbicides), weed control effect and safety evaluation of 11 sulfonylurea herbicides were compared. Results showed that the control effects (by fresh weight of the weeds) from the herbicides were more than 70%. All the 11 of herbicides could significantly reduce the weeds consumption of nitrogen, phosphorus, potassium and water. However, flazasulfuron caused serious chemical damage to M342. After spray, the plant rotted and gradually necrosed. Bensulfuron and fluzasulfuron also had significant effects on yield inhibition. Compared with manual weed control, yield from bensulfuron- and fluzasulfuron-treated fields decreased by 6.22% and 16.59%, respectively. The other 8 sulfonylurea herbicides had no significant effect on M342 yield, thus could be used to control weeds in field of the new rape variety resistant to sulfonylurea herbicides.

Key words: sulfonylurea; non-transgenic; herbicide-resistant rapeseed; weed control effect; safety

油菜是我国第一大油料作物, 每年可提供优质食用油约 520 万吨, 占国产植物油的 47%^[1]。由于近年来我国植物油产需缺口较大, 油菜产业的发展对保障我国食用植物油的安全具有重要作用。在油菜生产中, 草害是影响油菜产量和品质的重要因素

之一, 田间杂草不仅与油菜争夺光照、水分、肥料、空间等生长条件, 同时还作为病虫害的中间寄主, 增加油菜病虫害的发生。随着我国经济快速发展, 农村劳动力成本大幅提高, 油菜比较效益下降, 农民种植油菜积极性不高, 不仅种植面积下降, 生产

收稿日期: 2022-03-08

基金项目: 国家重点研发项目(2020YFD1000904); 国家现代农业产业技术体系(CARS-12); 江苏省农业科学院基金(012016111620)

作者简介: 张维(1986-), 女, 副研究员, 硕士研究生, 从事油菜栽培生理及遗传育种研究, E-mail: 20130032@jaas.ac.cn

* 通讯作者: 高建芹(1974-), 女, 研究员, 学士, 从事油菜品质育种和栽培推广研究, E-mail: chinagjq@163.com

管理也变得粗放,草害日益严重,已成为制约我国油菜生产的重要因素。当前我国油菜生产方式由传统的劳动密集型向规模化、机械化生产发展,化学除草已成为实现油菜轻简化栽培的重要环节和田间除草的主要方式。

我国油菜田的杂草发生情况主要分为两种类型:早茬油菜田以阔叶杂草为主,而稻茬油菜田为禾本科与阔叶杂草混生^[2]。油菜为阔叶型作物,防除阔叶杂草的除草剂对油菜同样有灭杀作用,因此如何在不产生药害的前提下,最大范围杀灭田间杂草是油菜田杂草防治的一个难点^[3]。采用复配剂可在一定程度上扩大杀草谱,降低药害。如采用20% 氨氯吡啶酸·二氯吡啶酸·烯草酮可分散油悬浮剂,对油菜田间常见的蔺草、大巢菜、看麦娘、牛繁缕等单、双子叶杂草均有良好防效,总草鲜重防效可达88.7%~98.0%,除草效果显著^[4]。陈坤荣等^[5]比较了油宝、油力、油达和油喜等4种复配茎叶除草剂对冬油菜田杂草防效及产量的影响,4种复配剂对禾本科杂草及猪殃殃(*Galium spurium*)有显著兼除效果,施药后杂草鲜重防效均在98.0%以上,但对阿拉伯婆婆纳(*Veronica persica*)防除效果差。不同配方的复配剂杀草谱不同,需针对田间的草害情况进行选择,因此限定了其使用范围。此外,复配剂的喷施对田间管理人员的技术要求较高,药剂配制浓度过高或喷施过程中出现重复喷施都可能对油菜产生药害。种植具有除草剂抗性的油菜品种,则能更大范围地选择杀草谱广的除草剂类型,且能避免药剂对油菜产生药害,因此是解决油菜田杂草防治最为经济、有效的方法。

了解油菜生产中的主要除草剂很重要。迄今为止,全球种植最为广泛的转基因抗除草剂油菜类型主要有孟山都公司的抗草甘膦(glyphosate)油菜、拜耳公司的抗草胺膦(glufosinate ammonium)油菜和巴斯夫公司的抗咪唑啉酮(imidazolinones, IMI)油菜^[6]。草甘膦是以莽草酸途径中的关键酶5-烯醇式丙酮酸莽草酸-3-磷酸合成酶(5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, EPSPS)为靶标开发的除草剂,草胺膦是以谷氨酰胺合成关键酶谷氨酰胺合酶(glutamine synthase, GS)为靶标,IMI是以乙酰乳酸合酶(acetolactate synthase, ALS)为靶标开发的除草剂。其中,由于ALS只存在于植物和微生物体内,因此ALS抑制类除草剂可以很好地杀灭田间杂草,却不会对动物或人产生影响,具有较高安全性。此外该类除草剂还具有杀草谱广、选择性强、使用

剂量低等优点^[7]。除IMI外,目前以ALS为靶标开发的除草剂还包括磺酰脲类(sulfonylureas, SU)、嘧啶水杨酸类(pyrimidyl-benzoates, PB)、三唑嘧啶类(triazolopyrimidines, TP)和磺酰氨基羧基三唑啉酮类(sulfonylaminocarbonyl-triazolinones, SCT)共五大类,统称为ALS抑制剂类除草剂^[8]。其中SU类除草剂是最早被研发出的ALS抑制剂类除草剂,目前在世界上仍占据主导地位。IMI类除草剂于20世纪80年代由美国氰胺公司成功开发,此类除草剂中目前只有咪唑乙烟酸在中国广泛使用。PB、TP和SCT均是从SU类化合物经过结构改造获得的衍生物或中间产物^[9]。

获得抗性油菜资源有赖于基因突变研究。油菜(*Brassica napus*)有5个ALS同源基因(*BnALS1*~*BnALS5*),其中*BnALS1*和*BnALS5*位于C基因组,*BnALS2*、*BnALS3*和*BnALS4*位于A基因组^[10]。巴斯夫公司的抗IMI油菜Smart Canola,由抗性突变体PM1(*BnALS1*的Ser653发生突变)和PM2(*BnALS3*的Trp574发生突变)聚合选育而成^[11]。本团队应用EMS诱变萌动种子和除草剂定向筛选技术获得了我国公开报道的第一个非转基因抗SU类除草剂油菜新种质M342^[12]。其抗性来源于*BnALS3*基因中的1处单碱基突变(G1667T),导致蛋白序列的第556位丝氨酸(TGG)残基转变为亮氨酸(TTG)^[13]。目前,我们以M342为轮回亲本,将抗性性状转育到丰产性好、配合力高的优良常规品系中,育成一批优良抗性亲本和新品种。其中,油菜新品种宁R101、宁R201已实现转让,并在长江下游地区推广应用。我们还将该系列的种质资源分享给国内油菜育种同行,预计不久将会有更多的抗除草剂品种面世。为筛选适合与该系列抗SU类除草剂油菜新品种搭配使用的除草剂,我们比较了苯磺隆、吡嘧磺隆等11种SU类除草剂的防除效果和安全性,以期为非转基因抗除草剂油菜田的杂草防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在江苏省农业科学院油菜试验田进行,前茬为大豆,地势平坦,肥力均匀。田间杂草群落主要由蔺草 *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fern.、看麦娘 *Alopecurus aequalis*、牛繁缕 *Malachium aquaticum*、大巢菜 *Vicia sativa*、婆婆纳 *Veronica didyma* Tenore、荠菜 *Capsella bursa-pastoris*、碎米荠 *Cardamine hirsuta*、泽漆 *Euphorbia helioscopia* 等组成,以双子叶

杂草为主,随机分布。

1.2 材料

非转基因抗SU类除草剂油菜品系 M342;SU类除草剂包括苯磺隆(HL1)、吡嘧磺隆(HL2)、苄嘧磺隆(HL3)、氯吡嘧磺隆(HL4)、乙氧磺隆(HL5)、啶嘧磺隆(HL6)、烟嘧磺隆(HL7)、甲基二磺隆(HL8)、氟唑磺隆(HL9)、砒嘧磺隆(HL10)、噻吩磺隆(HL11)。除草剂种类及生产厂家详见表1。

1.3 试验设计与施药方法

试验设11种SU类除草剂施药处理,设人工除草(CK1)和喷施清水(CK2)为对照,小区面积16 m² (3.34 m × 4.80 m),随机排列,4次重复。2020年9月28日播种,10月26日移栽,11月17日喷药,施药时田间杂草为1.5~5叶期,施药当日天气晴好。各供试药剂用量按说明书中的最高用量施用(表1),采用德国进口GARDENA-1.25 L园艺气压式喷壶,每公顷兑水450 L均匀喷雾,试验期间仅施药一次。油菜移栽前,施纯N 135 kg/hm²、P₂O₅ 135 kg/hm²、K₂O 135 kg/hm²,11%的硼肥15 kg/hm²,分别于越冬

期、薹期追施尿素75 kg/hm²和60 kg/hm²。按照常规方法进行田间管理。

1.4 调查方法及统计分析

施药后3~10 d目测各处理对油菜的安全性。施药后30 d调查杂草鲜重防效,每小区随机选取3个点,每点0.36 m² (0.6 m × 0.6 m),分别记录杂草种类、鲜重,依据《准则》(一)(GB/T 17980.45-2000)标准计算防效。其中:

单子叶杂草鲜重防效=(CK2单子叶杂草鲜重-处理区单子叶杂草鲜重)/CK2单子叶杂草鲜重×100%;

双子叶杂草鲜重防效=(CK2双子叶杂草鲜重-处理区双子叶杂草鲜重)/CK2双子叶杂草鲜重×100%;

总鲜重防效=(CK2总杂草鲜重-处理区总杂草鲜重)/CK2总杂草鲜重×100%。

每个小区各取1 m²的杂草测定杂草的氮、磷、钾和含水量,即杂草对NPK和水分的消耗量。采用凯氏定氮法测定样品全氮含量,通过干灰化法处理后

表1 磺酰脲类除草剂用量及生产厂家

Table 1 Dosage and manufactory of sulfonylurea herbicides

处理编号 Treatment code	除草剂种类 Herbicides	有效成分用量 Dosage of effective component / (g/hm ²)	除草剂生产厂家 Manufactory
HL1	10% 苯磺隆	30	江苏快达农化股份有限公司(江苏 如东)
	10% tribenuron-methyl		Jiangsu Kuaida Agrochemical Co., Ltd. (Rudong, Jiangsu)
HL2	10% 吡嘧磺隆	45	江苏快达农化股份有限公司(江苏 如东)
	10% pyrazosulfuron-ethyl		Jiangsu Kuaida Agrochemical Co., Ltd. (Rudong, Jiangsu)
HL3	10% 苄嘧磺隆	45	江苏快达农化股份有限公司(江苏 如东)
	10% bensulfuron methyl		Jiangsu Kuaida Agrochemical Co., Ltd. (Rudong, Jiangsu)
HL4	75% 氯吡嘧磺隆	67	安徽丰乐农化有限责任公司(安徽 肥东)
	75% halosulfuron-methyl		Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd. (Feidong, Anhui)
HL5	15% 乙氧磺隆	22	青岛闲农抗性杂草防治有限公司(山东 青岛)
	15% ethoxysulfuron		Qingdao Xiannong Resistant Weed Control Co., Ltd. (Qingdao, Shandong)
HL6	25% 啶嘧磺隆	60	新乡市莱恩坪安园林有限公司(河南 新乡)
	25% flazasulfuron		Xinxiang City Lane Ping'an Garden Co., Ltd. (Xinxiang, Henan)
HL7	4% 烟嘧磺隆	60	安徽丰乐农化有限责任公司(安徽 肥东)
	4% nicosulfuron		Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd. (Feidong, Anhui)
HL8	3% 甲基二磺隆	13	拜耳作物科学(中国)有限公司(浙江 杭州)
	3% mesosulfuron		Bayer Crop Science (China) Co., Ltd. (Hangzhou, Zhejiang)
HL9	70% 氟唑磺隆	36	江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司(江苏 常州)
	70% florasulam		Jiangsu Agricultural Hormone Engineering Technology Research Center Co., Ltd. (Changzhou, Jiangsu)
HL10	25% 砒嘧磺隆	22	青岛金尔农化研制开发有限公司(山东 青岛)
	25% rimsulfuron		Qingdao Jiner Agrochemical Research and Development Co. Ltd. (Qingdao, Shandong)
HL11	25% 噻吩磺隆	30	安徽丰乐农化有限责任公司(安徽 肥东)
	25% thifensulfuron methyl		Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd. (Feidong, Anhui)

采用电感耦合等离子光谱仪测定样品的全磷和全钾含量,采用烘干法测定样品中水分含量^[4]。同时每小区随机选取5株油菜幼苗,调查其苗高、总叶数、绿叶数、最大叶长、最大叶宽、地上干重及地下干重。收获前1周,每个小区随机选取5株油菜进行产量相关性状考察,收获时按小区测定实际产量。所有数据采用SPSS软件进行分析,显著性检验采用重复测量单因素方差分析,不同处理间显著性分析采用邓肯新复极差法。

2 结果与分析

2.1 11种SU类除草剂的除草活性

2.1.1 鲜重防效 试验结果表明11种SU类除草剂对油菜田杂草的鲜重防效均在70%以上,且对双子叶杂草的防除效果普遍高于单子叶杂草。其中HL6对单、双子叶杂草的鲜重防效及总防效分别为89.2%、95.6%及95.1%,在11种SU类除草剂中防

除效果最好,显著高于其它10种SU类除草剂。其次,HL7、HL8、HL5及HL11的总防效较高,与CK1的效果接近。HL7、HL6及HL8对单子叶杂草的鲜重防效最高。HL6对双子叶杂草的鲜重防效最高,其次是HL4、HL11、HL8和HL5(表2)。

2.1.2 保水保肥效果 除草剂的使用可减少杂草对作物的肥、水竞争。分析结果表明(表3),CK2小区杂草消耗的全氮量、全磷量、全钾量和水分分别为179.6 kg/hm²、56.0 kg/hm²、336.9 kg/hm²和3789.8 kg/hm²,均显著高于所有施用过除草剂的小区,表明施用SU类除草剂均可显著降低杂草对油菜大田氮、磷、钾和水分的消耗,有利于油菜的营养生长。其中HL2和HL3处理的全氮消耗量较高,分别为43.5 kg/hm²和54.5 kg/hm²,其它9个处理均较低,与CK1相比,差异不显著。试验结果还表明HL6、HL8和HL11处理的全磷消耗量最低,HL3的全磷消耗量显著高于CK1。HL1、HL4、HL6、HL8、

表2 不同除草剂对油菜田杂草的鲜重防效

Table 2 Fresh weight control of herbicides on weeds in rapeseed field /%

编号 Code	除草剂 Herbicides	单子叶杂草 Monocotyledon weed	双子叶杂草 Dicotyledon weed	总防效 Total effect
HL1	苯磺隆 Tribenuron-methyl	67.9c	85.6bc	84.8c
HL2	吡嘧磺隆 Pyrazosulfuron-ethyl	71.4bc	78.2c	77.9d
HL3	苄嘧磺隆 Bensulfuron methyl	71.5bc	79.1c	78.2d
HL4	氯吡嘧磺隆 Halosulfuron-methyl	50.3d	89.0b	82.2cd
HL5	乙氧磺隆 Ethoxysulfuron	80.4b	87.3b	86.9bc
HL6	啶嘧磺隆 Flazasulfuron	89.2a	95.6a	95.1a
HL7	烟嘧磺隆 Nicosulfuron	90.3a	86.0bc	88.6bc
HL8	甲基二磺隆 Mesosulfuron	87.8ab	87.7b	87.7bc
HL9	氟唑磺隆 Florasulam	65.5c	74.6c	72.7e
HL10	砒嘧磺隆 Rimsulfuron	77.8b	82.0bc	81.5cd
HL11	噻吩磺隆 Thifensulfuron methyl	72.3bc	88.2b	86.4bc
CK1	人工除草 Manual weeding	91.2a	89.5b	90.7b
CK2	清水对照 Untreated control	\	\	\

注:表中同列相同字母代表在5%水平差异不显著

Note: Means within columns followed by the same letter indicate no significant difference ($P=0.05$)

HL9和HL11处理的全钾消耗量最低,HL2、HL3及HL10的全钾消耗量较高,与CK1相比差异显著。HL6和HL11处理的水分消耗量最低,HL3处理的水分消耗量高于CK1。由此可见,11种SU类除草剂均能减少杂草对水肥的掠夺,其中HL2、HL3及HL10的保水保肥效果不及人工除草,其余8种SU类除草剂均与人工除草相当或高于人工除草。

2.2 11种SU类除草剂对抗除草剂油菜的安全性评价

2.2.1 对苗期生长的影响 施用除草剂10 d后,喷施HL6的小区出现油菜苗心叶变黄,其它小区的油菜均生长正常。施药30 d后,喷施HL6的小区油

菜苗出现腐烂并逐渐死亡。各处理的苗高、总叶数等油菜苗期生长指标的调查结果显示(表4),HL6和HL9对油菜幼苗的生长有较大影响,施用HL6的小区,油菜的苗高、总叶数、最大叶长、最大叶宽、地上干重及地下干重均显著低于CK1;施用HL9的小区,油菜的苗高、总叶数、最大叶长、地上干重及地下干重均显著低于CK1。其次,HL8对油菜幼苗的生长也有抑制,施用HL8的小区,油菜的苗高、地上干重及地下干重显著低于CK1。而HL3、HL4、HL5和HL10对油菜苗期生长影响较小。

2.2.2 对产量的影响 田间观察表明,HL6小区的油菜植株全部死亡,造成绝产,HL9小区呈现长势

表3 不同处理下油菜田杂草的养分和水分消耗量

Table 3 Nutrient and water consumption of weeds under different treatment / (kg/hm²)

编号 Code	全氮消耗量 Total N	全磷消耗量 Total P	全钾消耗量 Total K	水分消耗量 Water
HL1	22.8d	6.0de	33.5f	397.4de
HL2	43.5bc	10.7c	73.8c	855.9bcd
HL3	54.5b	15.2b	99.6b	1469.3b
HL4	24.3d	5.9de	38.6f	1251.8bc
HL5	33.6cd	9.0cd	56.4de	657.5cd
HL6	17.4d	5.0e	31.2f	254.9e
HL7	23.3d	6.2de	41.0ef	583.8cde
HL8	19.8d	5.1e	30.0f	546.6cde
HL9	18.2d	6.5cde	35.7f	900.9bcd
HL10	32.6cd	10.1cd	64.7cd	758.3bcd
HL11	15.5d	5.1e	34.5f	213.8e
CK1	25.7d	7.2cde	48.3e	686.9cd
CK2	179.6a	56.0a	336.9a	3789.8a

注:表中同列相同字母代表在5%水平差异不显著

Note: Means within columns followed by the same letter indicate no significant difference ($P=0.05$)

表4 除草剂对油菜苗期生长的影响

Table 4 Effect of herbicides on seedling growth of rapeseed

编号 Code	苗高 Height/cm	总叶数 Leave number	绿叶数 Green leave number	最大叶长 Maximum leaf length/cm	最大叶宽 Maximum leaf width/cm	地上干重 Shoot dry weight/g	地下干重 Root dry weight/g
HL1	38.1ab	12.1e	7.6c	37.6ab	12.2abc	8.4bcd	1.9b
HL2	37.4ab	12.6e	8.5bc	36.8ab	12.2abc	10.1b	1.8bc
HL3	37.1ab	13.9cd	9.0ab	36.5ab	13.3a	12.2a	2.2a
HL4	40.2a	15.5ab	8.3c	39.6a	12.8ab	7.9cd	1.7bcd
HL5	40.9a	15.3ab	8.1c	40.3a	12.6abc	9.6bc	1.7bcd
HL6	32.1d	12.2e	9.0ab	31.8cd	10.4d	4.0e	1.0g
HL7	36.7b	14.8abc	7.7c	36.5cd	12.7ab	8.4bcd	1.5cde
HL8	36.4b	16.0a	8.6b	35.2bc	10.9cd	7.6d	1.2fg
HL9	31.7d	13.1de	9.8a	31.3d	12.1abc	4.1e	1.4def
HL10	37.6ab	15.8a	9.0ab	37.2ab	11.4bcd	8.4bcd	1.2fg
HL11	33.2cd	14.3bcd	8.5bc	32.4cd	11.0cd	8.4bcd	1.5cde
CK1	39.3a	15.2ab	8.6b	38.2ab	12.5abc	9.7bc	1.7bc
CK2	38.0ab	14.3bcd	8.4bc	37.3ab	12.2abc	9.5bc	1.7bcd

注:表中同列相同字母代表在5%水平差异不显著

Note: Means within columns followed by the same letter indicate no significant difference ($P=0.05$)

弱、植株矮小的态势。CK2小区由于杂草竞争,植株长势也较弱。收获前对HL6以外的各小区进行油菜产量相关性状的调查,结果显示(表5),喷施除草剂的各小区,油菜有效分枝数和千粒重与对照相比无显著差异,可见除草剂对油菜有效分枝数和千粒重无影响。HL1、HL2、HL3、HL4、HL5、HL10及HL11处理的油菜产量相关性状与CK1相比均无显著差异。HL7处理的总角果数与CK1相比显著增加。HL8处理的总角果数与CK1相比也显著增加,但每角粒数显著减少。HL9处理的株高和每角粒数均显著减少。

实收测产结果表明(表5),喷施HL1、HL2、HL4、HL5、HL7、HL8、HL10及HL11的小区,产量与CK1相比无显著差异。施用HL3和HL9的小区产量与CK1相比,显著降低,分别减产6.22%和16.59%,但HL3处理的小区产量与CK2相比,显著提高,增产16.93%。

3 讨论与结论

SU类除草剂是一类低毒、高效的除草剂。自20世纪70年代末期开发以来,发展极快,现已在世界范围内广泛使用。迄今为止,市场上已有超过50种SU类除草剂,我国常用的有烟嘧磺隆、苯磺隆、苄嘧磺隆、吡嘧磺隆等^[4]。不同种类的SU类除草剂,其杀草谱不同,对作物的安全性也不同。本研究所用的非转基因抗除草剂油菜品系M342是通过EMS诱变和苯磺隆定向筛选获得^[5],对噻吩磺隆、苯磺隆、甲基二磺隆的抗性浓度能达到推荐杀草浓度的3~

4倍,同时还具有对IMI类除草剂咪唑乙烟酸的抗性^[6,13]。本研究选取国内常用的11种SU类除草剂,比较大田生产中11种除草剂对M342的安全性,以扩大除草剂的选择范围,避免由于除草剂的选择不当造成种植户的损失。安全性评价结果显示,啶嘧磺隆(HL6)对M342有严重药害,喷施10d后,幼苗便出现心叶黄化,30d后,植株腐烂并逐渐坏死,造成绝产。氟唑磺隆(HL9)对M342也有药害,喷施30d后,幼苗苗高、总叶数、最大叶长、地上干重及地下干重均显著低于人工除草,实收测产结果显示,喷施氟唑磺隆的小区产量与人工除草对照相比,减产16.59%,与清水对照无显著性差异。苄嘧磺隆(HL3)对M342的产量也有显著性影响,施用苄嘧磺隆的小区产量与人工除草对照相比,减产6.22%,但与清水对照相比,增产16.93%。因此,在M342系列抗SU类除草剂油菜新品种的生产中应避免选用这三种除草剂。

在本试验中,苯磺隆(HL1)、吡嘧磺隆(HL2)、氯吡嘧磺隆(HL4)及砒嘧磺隆(HL10)的杂草总防效均显著低于人工除草,但其实收产量却与人工除草无显著差异。由此可见,油菜苗期杂草只要控制在一定范围内,对后期油菜产量的影响较小。鲁军雄等^[6]总结了长江中下游油菜田杂草的发生规律:在10月下旬至12月上旬,肥水和气候条件适宜杂草生长,会出现杂草大量爆发,影响油菜成苗;12月至翌年2月上旬,干燥寒冷的气候会使杂草的密度和鲜重有所下降;春季气温回升后,杂草迎来第二出草高峰,但此时油菜生长旺盛,形成致密冠层,杂

表5 除草剂对油菜产量相关性状的影响

Table 5 Influence of herbicides on yield-related traits of rapeseed

编号 Code	株高 Height /cm	有效分枝数 Effective branches	总角果数 Total siliques	每角粒数 Seeds per silique	千粒重 1000-grain weight /g	实收产量 Yield / (kg/hm ²)
HL1	193.2ab	10.6a	444.2cd	23.5a	3.8abc	3654.8ab
HL2	188.0ab	9.2a	427.8d	23.0ab	3.8abc	3510.0bcd
HL3	196.3ab	8.3a	435.5cd	22.9ab	3.7bc	3471.5cd
HL4	181.6b	9.8a	442.6cd	22.7ab	3.8bc	3607.5abc
HL5	202.1a	9.8a	488.0abc	21.4bc	3.8abc	37489.0ab
HL6	/	/	/	/	/	/
HL7	184.2b	8.6a	502.0a	20.7c	3.9a	3764.6a
HL8	193.4ab	10.0a	524.0a	20.1d	3.7bc	3676.4ab
HL9	158.1c	10.7a	423.5d	20.4d	3.7bc	3087.8e
HL10	188.6ab	10.0a	442.2cd	22.5abc	3.8abc	3552.2bcd
HL11	192.1ab	9.5a	440.8cd	21.9b	3.7bc	3516.3bcd
CK1	195.5ab	10.2a	453.7bcd	22.4abc	3.8ab	3701.7ab
CK2	190.9ab	10.4a	405.5d	20.2d	3.8ab	2969.0e

注:表中同列相同字母代表在5%水平差异不显著

Note: Means within columns followed by the same letter indicate no significant difference at 0.05

草无竞争优势,对油菜生长不构成危害。因此,在油菜生产中,只需要在前期将杂草控制在一定范围内,保障油菜生长发棵,形成覆盖层,便能抑制杂草后期的生长。因此,在施用除草剂时也可适当降低剂量,在除草剂的选择中也不必一味追求高防效的除草剂,可结合多种因素综合考虑。

11种SU类除草剂中,苯磺隆(HL1)、吡嘧磺隆(HL2)、氯吡嘧磺隆(HL4)、乙氧磺隆(HL5)、烟嘧磺隆(HL7)、甲基二磺隆(HL8)、砒嘧磺隆(HL10)及噻吩磺隆(HL11)8种除草剂对M342的产量均无显著性影响,可应用于M342系列抗SU类除草剂油菜新品种田间杂草的防除。其中乙氧磺隆、烟嘧磺隆、甲基二磺隆及噻吩磺隆的杂草总防效最高;烟嘧磺隆、甲基二磺隆的单子叶杂草防效最高;氯吡嘧磺隆、乙氧磺隆、甲基二磺隆及噻吩磺隆的双子叶杂草防效最高。种植者可根据田间杂草情况及药剂用量、价格等因素综合考虑,合理选择。此外,由于不同品种的SU类除草剂在土壤中的残留时间不一样,有些品种可能会对后茬作物种植产生影响。磺酰脲类除草剂中残留期较长的品种有烟嘧磺隆、氯吡嘧磺隆、胺苯磺隆、氯嘧磺隆、甲磺隆、氯磺隆、氟酮磺隆、氟磺隆、醚苯磺隆等^[17]。种植者还需根据后茬作物的种类选择除草剂品种。如后茬种植水稻,可选用对水稻安全性较高的吡嘧磺隆、氯吡嘧磺隆、乙氧磺隆等^[18];种植玉米,可选择烟嘧磺隆、砒嘧磺隆等。

抗除草剂油菜搭配使用除草剂,可大大提高油菜田的除草效率,降低生产成本,近年来植保无人机的推广应用进一步降低了喷施除草剂的人工成本。种植抗除草剂油菜品种,并配套施用适宜的除草剂,将会是解决油菜田杂草防除的最经济、有效的方法,为加快油菜机械化生产,降低生产成本,促进种植户增产增收提供技术保障。

参考文献:

[1] 刘成,冯中朝,肖唐华,等.我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J].中国油料作物学报,2019,41(4):485-489. DOI:10.7505/j.issn.1007-9084.2019.04.001.

[2] 王汉中.中国油菜生产抗灾减灾技术手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009:91-95.

[3] 管文杰,张付贵,闫贵欣,等.油菜抗除草剂机理与种质创制研究进展[J].中国油料作物学报,2021,43(6):1159-1173. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2020354.

[4] 朱文达,刘晓洪,颜冬冬,等.20%氨氯吡啶酸·二氯吡啶酸·烯草酮可分散油悬浮剂防除油菜田杂草的效

果[J].中国油料作物学报,2019,41(1):120-125.

[5] 陈坤荣,曾令益,刘凡,等.四种复配茎叶除草剂对冬油菜田杂草防效及产量的影响[J].湖北农业科学,2021,60(20):91-93. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2021.20.017.

[6] 胡茂龙,浦惠明,张洁夫.我国抗ALS类除草剂油菜种质创制与研究进展[J].中国油料作物学报,2018,40(5):679-686. DOI:10.7505/j.issn.1007-9084.2018.05.010.

[7] 吴云雨,肖宁,余玲,等.我国抗除草剂水稻种质创制研究进展[J].植物遗传资源学报,2021,22(4):890-899. DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20201103002.

[8] 刘长乐,郭月,李芳芳,等.抗ALS类除草剂作物种质创制与利用研究进展[J].植物遗传资源学报,2022,23(2):333-345. DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20211215001.

[9] 张红磊,李军玲,张融雪,等.ALS以及ALS抑制剂类除草剂的研究进展[J].植物学研究,2021,10(6):11. DOI:10.12677/BR.2021.106097.

[10] Rutledge R G, Quellet T, Hattori J, et al. Molecular characterization and genetic origin of the *Brassica napus* acetohydroxyacid synthase multigene family [J]. Mol Gen Genet, 1991, 229(1): 31-40. DOI:10.1007/BF00264210.

[11] Hattori J, Brown D, Mourad G, et al. An acetohydroxy acid synthase mutant reveals a single site involved in multiple herbicide resistance [J]. Mol Gen Genet, 1995, 246(4): 419-425. DOI:10.1007/BF00290445.

[12] 胡茂龙,浦惠明,龙卫华,等.一种甘蓝型油菜抗磺酰脲类除草剂基因及其应用:CN103266118 B[P]. Feb 4, 2015.

[13] Hu M L, Pu H M, Gao J Q, et al. Inheritance and molecular characterization of resistance to AHAS-inhibiting herbicides in rapeseed [J]. J Integr Agric, 2017, 16(11): 2421-2433. DOI:10.1016/S2095-3119(17)61659-9.

[14] 王新,倪子钧,李兆兴,等.磺酰脲类除草剂的微生物降解研究进展[J].环境化学,2020,39(5):1356-1367. DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2019062705.

[15] 浦惠明,胡茂龙,高建芹,等.一种基于ALS靶酶的抗除草剂油菜定向选育方法:CN103070068A[P]. 2015-04-01.

[16] 鲁军雄,陈社员,官春云,等.长江中下游油菜田杂草发生规律及实用防治策略[J].作物研究,2012,26(6):639-642. DOI:10.3969/j.issn.1001-5280.2012.06.05.

[17] 王险峰,关成宏,范志伟.磺酰脲类除草剂安全性评价[J].农药,2010,49(8):547-551,564. DOI:10.16820/j.cnki.1006-0413.2010.08.001.

[18] 刘宝胜,刘志俊.浅析磺酰脲类除草剂的发展及未来[J].农药科学与管理,2006,27(10):46-48. DOI:10.3969/j.issn.1002-5480.2006.10.015.