

# 氟磺胺草醚对大豆苗期生长及叶绿素荧光参数的影响

周 聪<sup>1,2</sup>, 陈 未<sup>2</sup>, 李江叶<sup>2</sup>, 刘丽珠<sup>2</sup>, 陈金林<sup>1\*</sup>, 高 岩<sup>2\*</sup>

(1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

**摘要:** 研究氟磺胺草醚施用后大豆苗期生长及生理特征的变化, 为农业生产中合理施用除草剂提供科学的依据。以大豆(苏18)为研究对象, 采用盆栽试验, 分析不同剂量氟磺胺草醚施用对大豆苗期生长及叶绿素荧光参数的影响。结果表明: 氟磺胺草醚施用剂量达到或超过 225 g a.i./hm<sup>2</sup> 时显著抑制大豆苗期根系生长, 促使叶片过氧化物酶活性以及丙二醛含量上升。氟磺胺草醚施用剂量超过 450 g a.i./hm<sup>2</sup> 时会破坏大豆苗期叶片的光合作用, 导致大豆生物量下降。从叶绿素荧光成像看, 氟磺胺草醚对大豆光合作用的药害随时间增加而逐渐减弱。过量施用氟磺胺草醚会延缓大豆苗期整体的生长发育, 破坏大豆苗期光合作用。

**关键词:** 氟磺胺草醚; 大豆; 酶活性; 叶绿素荧光

中图分类号: S451.22\*3

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)03-0041-05

## Effect of Fomesafen on Soybean Seedling Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters

ZHOU Cong<sup>1,2</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>, LI Jiangye<sup>2</sup>, LIU Lizhu<sup>2</sup>, CHEN Jinlin<sup>1\*</sup>, GAO Yan<sup>2\*</sup>

(1. Co-innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The changes in the growth and physiological characteristics of soybean seedlings after the application of fomesafen were studied to provide a scientific basis for the rational application of herbicides in agricultural production. Accordingly, we carried out pot experiments to study the impacts of different dosages of fomesafen on soybean seedling growth and chlorophyll fluorescence parameters of soybean(SU18). The results showed that when the dosage of fomesafen reached or exceeded 225 g a.i./ha, it significantly inhibited the growth of soybean root system, leaf peroxidase activity and the increase of malondialdehyde content. When the application dose of fomesafen exceeds 450 g a.i./ha, the photosynthesis of the leaves of soybean seedlings were destroyed, resulting in the decrease of soybean biomass. From the chlorophyll fluorescence imaging, the phytotoxicity of fomesafen on soybean photosynthesis gradually weakened with time. Excessive application of fomesafen can delay the overall growth and development of soybean seedlings and destroy photosynthesis in soybean seedlings.

**Key words:** Herbicides; Soybean; Enzyme activity; Chlorophyll fluorescence

大豆是我国重要的经济作物, 2019年中央一号文件提出大豆振兴计划, 进一步推动我国豆科

作物种植业的发展<sup>[1]</sup>。农田杂草与作物争夺养分、水分、阳光和空间, 妨碍田间通风透光, 降低了作物的产量和质量, 是制约我国豆科经济作物发展的重要因素之一<sup>[2]</sup>。由于人工除草效率低、成本高且杂草难以根治, 化学除草是目前主要的除草方式, 在除草过程中也会一定程度上对作物生长造成影响<sup>[3-4]</sup>。

氟磺胺草醚为原卟啉氧化酶抑制剂(PPO), 常用于豆田除草, 多采用茎叶处理, 效率高、选择

收稿日期: 2023-09-07

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX201010); 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

作者简介: 周 聪(1995-), 男, 在读硕士, 从事土壤环境与污染治理研究。

通信作者: 陈金林, 男, 博士, 教授, E-mail: jlchen@njfu.edu.cn

高 岩, 女, 博士, 研究员, E-mail: ygao@jaas.ac.cn

性好<sup>[5]</sup>。近年来发现氟磺胺草醚田间实际用量为登记用量的3~4倍,80%~90%除草剂最终进入土壤,影响后茬作物立苗,造成大豆减产<sup>[6]</sup>。目前,关于氟磺胺草醚对作物产量的影响以及受氟磺胺草醚胁迫后作物酶活性变化方面的研究较多,但对豆科作物光合系统的损害程度仍不明确<sup>[7-8]</sup>。

为此,本研究通过盆栽试验,借助叶绿素荧光分析技术,快速探测氟磺胺草醚对豆科作物的胁迫效应,直观展现豆科作物受胁迫程度,探究豆科作物光合作用和环境的内在关系,旨在从光合生理的角度为豆科作物合理施用除草剂以及提高作物产量提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试土壤为黄棕壤,采自江苏省农业科学院农场(32°02'9.07" N, 118°52'13.65" E)玉米地,采集深度为20 cm,5年内未曾使用过任何除草剂。采集后的土壤在室温下风干,磨碎,过2 mm筛,供盆栽试验使用。

试验所用除草剂为氟磺胺草醚(有效成分含量250 g/L),购自山东天润化工有限公司。

试验所用大豆品种为苏18,由江苏省农业科学院经济作物研究所提供。

### 1.2 试验设计

试验于2019年8月在江苏省农业科学院温室大棚进行,光照为自然光照,盆栽按完全随机排列。该试验采用双因素完全随机设计,氟磺胺草醚施用剂量设置4个水平,分别为:不施用氟磺胺草醚(CK)、大田推荐剂量(225 g a.i./hm<sup>2</sup>)(F<sub>1</sub>)、大田推荐剂量2倍(450 g a.i./hm<sup>2</sup>)(F<sub>2</sub>)、大田推荐剂量5倍(1 125 g a.i./hm<sup>2</sup>)(F<sub>3</sub>),每个处理4次重复。试验用盆为硬质塑料花盆,底部留有孔径可供透气,盆规格为6.6 cm×6.6 cm×8 cm(长×宽×高),每盆栽过2 mm筛土壤200 g,盆内播种种子3粒,长出真叶后保留长势一致的幼苗,播种15 d(V<sub>2</sub>期)时,进行氟磺胺草醚茎叶处理,施用前按照盆土面积(6.6 cm×6.6 cm)以及田间施用剂量进行配制。

### 1.3 测定指标及方法

播种25 d(V<sub>3</sub>期)和35 d(V<sub>5</sub>期)时进行样品的破坏性采集。采集植物样品前首先测量株高,然后将植物样品放置于暗室进行暗处理,暗处理15 min后,剪取植物叶片,称量鲜重,并进行叶绿素荧光的测定;同时采集作物根系样品,轻轻洗去根系附着土壤,用吸水纸擦干,称量根系鲜重。

采集的一部分叶片和根系样品用锡箔纸包裹保存于-20℃冰箱用于叶片酶活性和根系活力的测定。

使用FluorCam FC 800-O/1010GFP进行叶绿素荧光参数的测定<sup>[9]</sup>;采用TTC法<sup>[10]</sup>测定作物根系活力;采用硫代巴比妥酸法<sup>[11]</sup>测定作物叶片中丙二醛(MDA)的含量;采用愈创木酚法<sup>[12]</sup>测定植株叶片中过氧化物酶(POD)的活性;使用钢尺测定作物的株高,使用分析天平称量作物的重量。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2012进行数据处理和制图。采用SPSS 22.0进行单因素方差分析和皮尔逊相关分析,处理间多重比较采用最小显著性差异(LSD)法。

## 2 结果与分析

### 2.1 氟磺胺草醚对大豆苗期生长的影响

由图1A可知,在大豆V<sub>3</sub>期,株高随着氟磺胺草醚施用量的增加呈现降低趋势,大田推荐剂量及以上剂量均显著降低大豆株高,在大豆V<sub>5</sub>期亦是如此。但无论是在V<sub>3</sub>期还是V<sub>5</sub>期,氟磺胺草醚各施用剂量均对大豆鲜重影响不显著(图1B)。

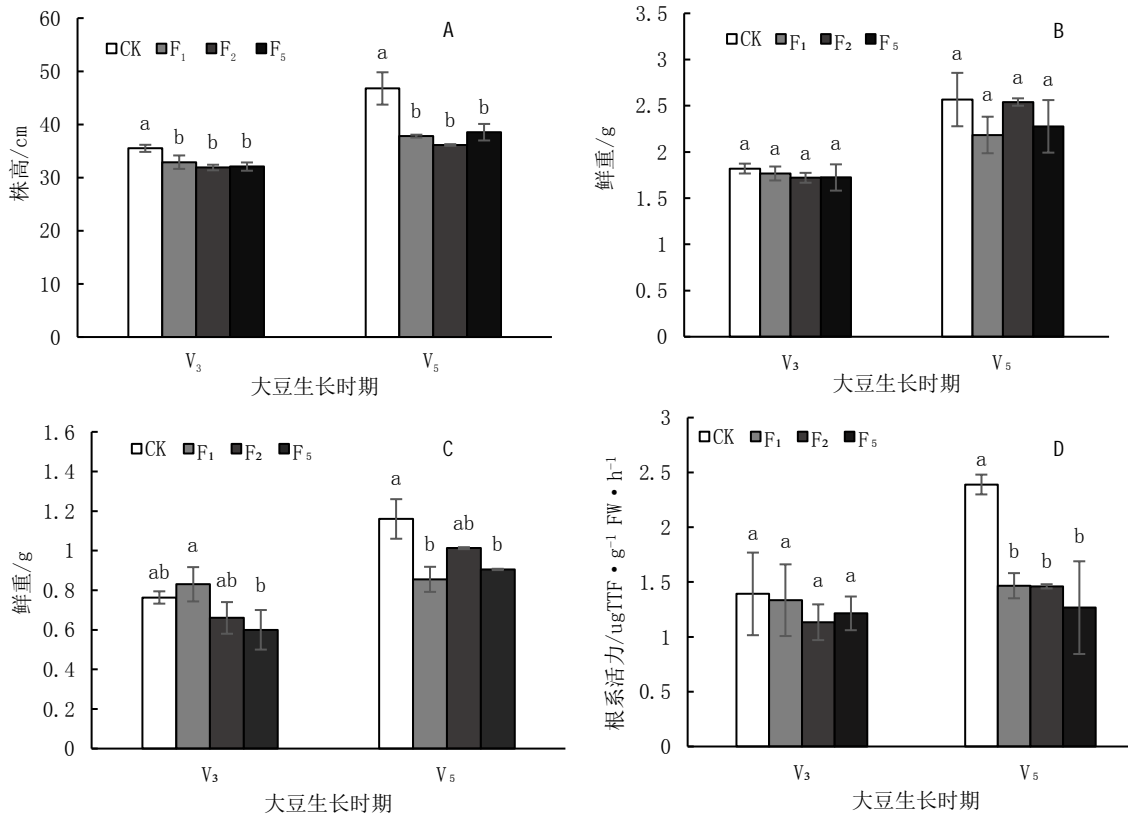
氟磺胺草醚的施用显著抑制了大豆根系的生长,其中根鲜重随着施用剂量的增加呈下降趋势(图1C)。在大豆V<sub>3</sub>和V<sub>5</sub>期,施用2倍及以上氟磺胺草醚大田推荐剂量均明显降低大豆根重,其中在大豆V<sub>3</sub>期的下降率可分别达13.52%(2倍大田推荐剂量)、12.71%(5倍大田推荐剂量)。

随着施用剂量的增加,氟磺胺草醚显著抑制了大豆根系活力(图1D),在大豆V<sub>3</sub>期,氟磺胺草醚的施用对大豆根系活力影响不显著,在大豆V<sub>5</sub>期氟磺胺草醚分别使大豆根系活力下降38.62%(大田推荐剂量)、38.86%(2倍大田推荐剂量)、46.99%(5倍大田推荐剂量)。

### 2.2 氟磺胺草醚对大豆苗期叶片丙二醛含量及过氧化物酶活性的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的重要产物,通常用来表征植物受损程度。从图2A可以看出,无论是在大豆V<sub>3</sub>还是V<sub>5</sub>期,叶片内丙二醛含量随氟磺胺草醚施用剂量的增加而明显增加,且大豆叶片丙二醛含量在V<sub>5</sub>期均明显高于V<sub>3</sub>期。

过氧化物酶(POD)是催化氧化酚类、胺类、烃类氧化产物,消除过氧化氢和酚类、胺类、醛类、苯类毒性<sup>[13]</sup>。由图2B可知,氟磺胺草醚的施用在大豆V<sub>3</sub>和V<sub>5</sub>期时均使叶片内过氧化物酶的活性随施用剂量的增加而增加,在大豆V<sub>3</sub>期时,当施



注:图中小写字母不同表示不同处理间差异显著(P<0.05),V<sub>3</sub>为三节期,V<sub>5</sub>为五节期,下同

图1 不同剂量氟磺胺草醚对大豆苗期生长的影响

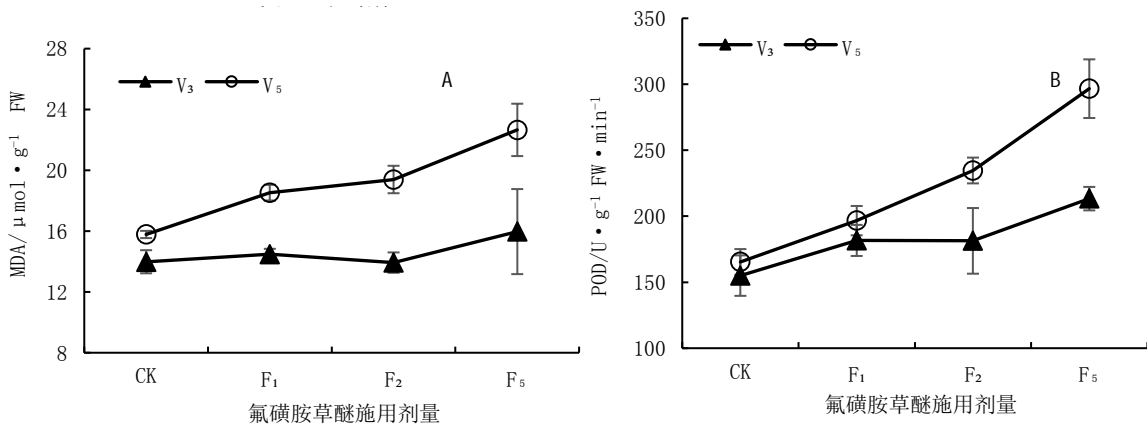


图2 不同剂量氟磺胺草醚对大豆苗期叶片丙二醛含量及过氧化物酶活性的影响

用剂量达到5倍田间推荐施用剂量时,其活性与其他施用剂量时叶片内过氧化物酶的活性存在明显差异,而在V<sub>3</sub>期时,各大田推荐剂量均使其明显增加。

### 2.3 氟磺胺草醚对大豆叶绿素荧光成像的影响

不同剂量氟磺胺草醚胁迫处理后豆科作物叶片PS II最大量子产率时的荧光成像如图3所示。结果显示,在大豆V<sub>3</sub>期时,大豆叶片荧光成像强度随氟磺胺草醚施用剂量增加由高变低,1倍和2倍大田推荐剂量处理后,豆科作物叶片仍能维持

大部分区域光合作用活性,而5倍大田推荐剂量处理后,豆科作物叶片逐渐失去光合作用活性,只有新长出较嫩叶片部分区域有光合活性(图3)。不施用任何除草剂对照组中的豆科作物能运用整个叶面进行光合作用(未受胁迫豆科作物QY<sub>max</sub>值在0.8~0.85),受氟磺胺草醚胁迫后的叶片光合活性降低。但在大豆V<sub>5</sub>期,大豆叶片荧光成像强度逐渐恢复至不施用任何除草剂对照水平,这可能是由于氟磺胺草醚已渗入土壤中,减少了对大豆叶片光合作用的持续药害作用。

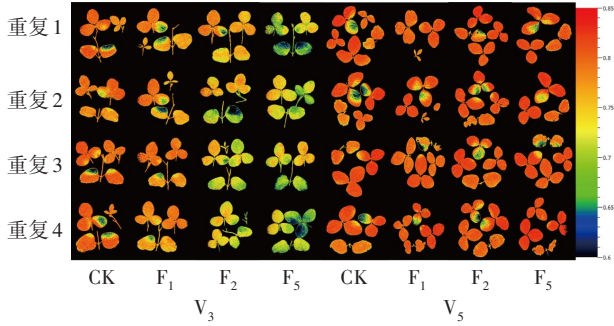


图3 不同剂量氟磺胺草醚对大豆苗期叶片叶绿素荧光(QY\_max)成像的影响

2.4 氟磺胺草醚对大豆叶绿素荧光参数的影响

由图4可知,大豆叶片ΦPSII实际量子产量随着氟磺胺草醚施用剂量的增加而显著下降,在V<sub>3</sub>期,大豆叶片ΦPSII实际量子产量分别降低4.21%(大田推荐剂量)、7.55%(2倍大田推荐剂量)、10.14%(5倍大田推荐剂量)。在大豆V<sub>5</sub>期时呈现相近趋势,分别降低3.22%(2倍大田推荐剂量)、5.89%(5倍大田推荐剂量),与之不同的是,各推荐施用剂量下的大豆叶片ΦPSII实际量子产量均

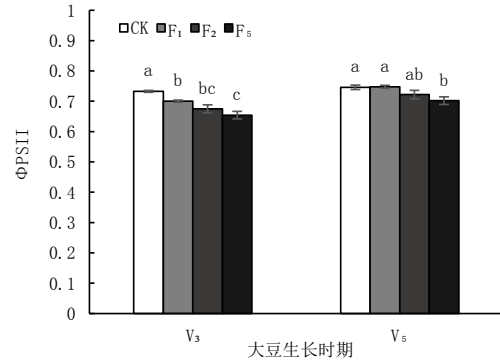


图4 不同剂量氟磺胺草醚对大豆叶片实际量子产量的影响

高于V<sub>3</sub>期,且大田推荐剂量下的大豆叶片ΦPSII实际量子产量恢复至对照水平。

由图5A可知,无论是在大豆V<sub>3</sub>期还是V<sub>5</sub>期均对大豆叶片的Fv/Fm无显著影响。而大豆叶片的光保护能力(NPQ\_Lss)随着氟磺胺草醚施用剂量的上升而上升(图5B),且在5倍大田推荐剂量时达到最高。

qP\_Lss即稳态光适应光化学淬灭表示的是稳

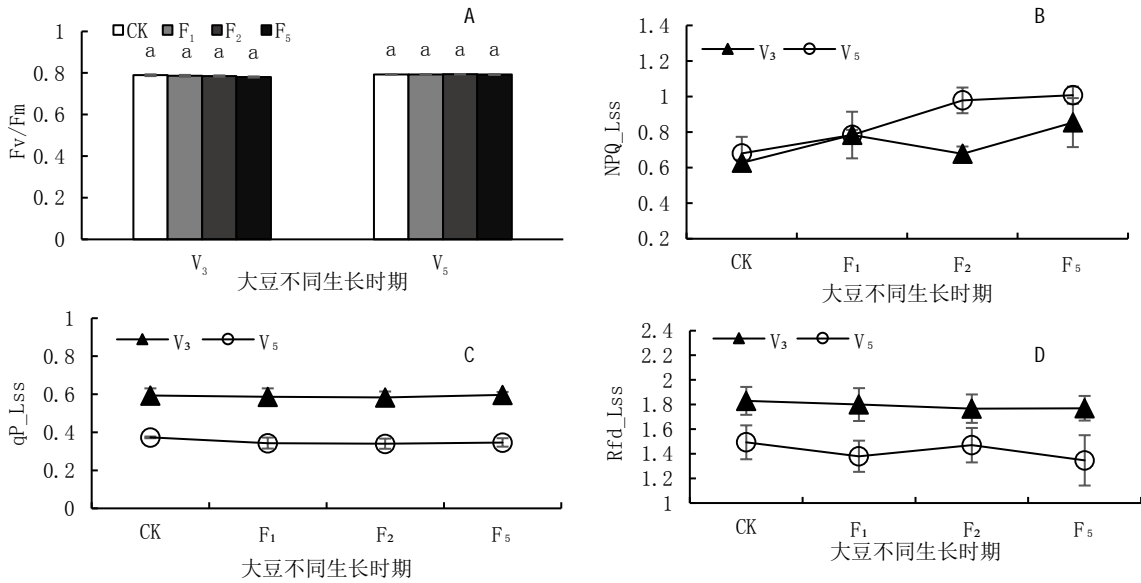


图5 不同剂量氟磺胺草醚对大豆叶片Fv/Fm、qP\_Lss、NPQ和Rfd\_Lss的影响

态下PS II反应中心关闭程度,由图5C可知,氟磺胺草醚的施用对大豆V<sub>3</sub>期叶片的qP\_Lss无明显影响,而在V<sub>5</sub>期时,大豆叶片的qP\_Lss呈明显下降趋势,且在2倍大田推荐剂量时降至最低。

Rfd\_Lss为稳态荧光衰减率,可用来评估植物的活力,由图5D可知,在大豆V<sub>3</sub>以及V<sub>5</sub>期时,大豆叶片的Rfd\_Lss随着氟磺胺草醚的施用剂量的增加呈显著下降趋势,且大豆V<sub>5</sub>期时大豆叶片的

Rfd\_Lss明显低于大豆V<sub>3</sub>期时,这表明随着氟磺胺草醚的残留会持续降低大豆叶片的功能。

3 讨论

氟磺胺草醚在除草过程中会对大豆产生一定的药害作用,本研究发现当氟磺胺草醚施用剂量达到或超过225 g a.i./hm<sup>2</sup>时会显著降低苗期大豆的株高,尤其抑制了大豆根系的生长发育,造成

大豆根重及根系活力的降低。这与韩玉军等<sup>[14]</sup>研究结果相近。氟磺胺草醚的施用破坏了大豆苗期叶片的光合作用,从而导致大豆的整体发育迟缓<sup>[15]</sup>。MDA和POD的上升可能是由于大豆体内活性氧积累,膜脂质过氧化程度高,细胞膜的损伤和膜系统完整性的破坏使酶活性上升,触发保护酶系统,清除过量的活性氧以维持活性氧的代谢平衡、保护膜结构,以此来消除除草剂带来的氧化胁迫<sup>[13]</sup>。

本研究中氟磺胺草醚施用剂量超过450 g a.i./hm<sup>2</sup>时在一定程度上会抑制大豆的光合作用。Fv/Fm、qP\_Lss以及Rfd\_Lss均随氟磺胺草醚施用剂量增加呈下降趋势而NPQ随施用剂量增加呈显著上升。这与王艳艳、苏旺苍等<sup>[16-17]</sup>除草剂对大豆叶绿素荧光参数影响较为相近。当氟磺胺草醚施用剂量超过450 g a.i./hm<sup>2</sup>时显著抑制豆科作物叶片光系统Ⅱ中的电子传递速率以及光系统Ⅱ中心区域活性受到限制,弱化光能的吸收处理能力,使光合系统处于过度的激发态,能量溢出到氧或者其他邻近的分子,从而使豆科作物PSⅡ反应中心发生不可逆破坏,能量分配不平衡,光合能力下降<sup>[18-19]</sup>。NPQ\_Lss会随着除草剂施用剂量上升而不断上升,提高热耗散,从而减轻所受的污染危害并进行自我保护,而qP\_Lss却与之相反,qP\_Lss的下降则增加了光破坏和光抑制,损伤植物光合机能,进而导致大豆活力(Rfd\_Lss)的下降,造成大豆损伤<sup>[20-21]</sup>。本研究中氟磺胺草醚对大豆苗期叶片光合作用的抑制可能是由于其作用的是叶绿素合成途径中关键酶—原卟啉原氧化酶,其可抑制原卟啉IX合成,从而减少叶片叶绿素含量,降低叶片的光合作用<sup>[22]</sup>。但从大豆苗期叶片叶绿素荧光(QY\_max)成像发现大豆叶片的光合作用能力会随着时间的增加逐渐恢复。

## 4 结 论

氟磺胺草醚施用剂量超过225 g a.i./hm<sup>2</sup>时,不仅延缓了大豆苗期生长发育,还造成大豆叶片细胞膜损伤,触发了酶保护系统。当施用剂量达到或超过450 g a.i./hm<sup>2</sup>时,显著抑制了大豆的光合作用,但从叶绿素荧光成像上看,氟磺胺草醚对大豆光合作用的破坏会随着时间的增加而逐渐减弱,这需要进一步研究。

### 参考文献:

- [ 1 ] 殷瑞锋. 2019年中国大豆市场形势回顾和2020年展望[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 45-49.
- [ 2 ] 李莉, 朱文达, 李林, 等. 17.5%精喹禾灵EC对大豆田一年生禾本科杂草防除效果研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(23): 4519-4522.
- [ 3 ] 李瑞平, 罗洋, 谢瑞芝, 等. 秸秆覆盖免耕条件下玉米和大豆田机械与化学除草效果比较分析[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 1-6.
- [ 4 ] 睢全国. 大豆田化学除草药害的发生原因和解决方法分析[J]. 南方农机, 2019, 50(14): 68.
- [ 5 ] 李冬刚, 骆兰平, 王汝明, 等. 不同除草剂防除夏大豆田一年生阔叶杂草的田间药效试验[J]. 现代农业科技, 2018(17): 98-99.
- [ 6 ] Qu Y X. Review on the harm and chemical control of weeds in soybean fields[J]. Pesticide Market Information, 2016, 14(6): 6-10.
- [ 7 ] Wu X H, Zhang Y, Du P Q, et al. Impact of fomesafen on the soil microbial communities in soybean fields in Northeastern China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017, 148(FEB.): 169-176.
- [ 8 ] Hu H, Zhou H, Zhou S, et al. Fomesafen impacts bacterial communities and enzyme activities in the rhizosphere[J]. Environmental Pollution, 2019, 253: 302-311.
- [ 9 ] Abdelkefi H, Matteo S, Hang K, et al. Guanosine tetraphosphate modulates salicylic acid signalling and the resistance of Arabidopsis thaliana to Turnip mosaic virus[J]. Molecular Plant Pathology, 2018, 19(3): 634-646.
- [ 10 ] 张志勇, 卜晶晶, 王素芳, 等. 冠菌素对不同钾水平下TTC法测定的棉花根系活力的影响[J]. 植物生理学报, 2015, 51(5): 695-701.
- [ 11 ] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 106-108, 113-115.
- [ 12 ] 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154-155.
- [ 13 ] 王良梅, 李艳艳, 曹莉, 等. 不同富营养化程度水体对枫杨幼苗的生长及抗氧化酶的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(2): 219-223.
- [ 14 ] 韩玉军, 付久才, 王谦玉, 等. 助剂对氟磺胺草醚除草活性及大豆安全性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2015, 45(10): 10-14.
- [ 15 ] Li H, Wang P, Weber J F, et al. Early Identification of Herbicide Stress in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Using Chlorophyll Fluorescence Imaging Technology[J]. Sensors, 2017, 18(1): 21-34.
- [ 16 ] 王艳艳, 何付丽, 范丹丹, 等. 噻草酮对大豆叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(1): 84-88.
- [ 17 ] 苏旺苍, 孙兰兰, 吴仁海, 等. 叶绿素荧光在大豆莠去津药害早期诊断中的应用[J]. 河南农业科学, 2015, 44(2): 82-86.
- [ 18 ] 王丽娟, 于星宇, 冯旭, 等. 外壳寡糖提高鲁梅克斯对铜胁迫的耐受性研究[J]. 东北农业科学, 2020, 45(3): 60-64.
- [ 19 ] 王恒亮, 吴仁海, 职倩倩, 等. 除草剂作用机制研究进展[J]. 河南农业科学, 2013, 42(12): 11-15.
- [ 20 ] 于惠琳, 吴玉群, 胡宝忱, 等. 水分逆境下糯玉米光合荧光系统的生理调节[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 8-12, 103.
- [ 21 ] 吴孝红, 任重, 汪贵斌, 等. 不同类型接穗银杏苗生长和光合特性的比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(9): 41-48, 103.
- [ 22 ] 卢向阳, 徐筠. 氟磺胺草醚对作物的药害及解决措施[J]. 农药, 2006, 45(5): 350-352.

(责任编辑:王 昱)