

DOI: 10.11766/trxb202112270633

郭致杰, 张海英, 李建军, 徐生军, 荆卓琼, 吕和平. 基于玉米膜下滴灌系统的药液扩散与除草效果研究[J]. 土壤学报, 2023, 60(4): 1183–1191.

GUO Zhijie, ZHANG Haiying, LI Jianjun, XU Shengjun, JING Zhuoqiong, LYU Heping. Medicinal Liquid Diffusion and Weed Control Effect Based on Drip Irrigation System Under Maize Film[J]. Acta Pedologica Sinica, 2023, 60(4): 1183–1191.

## 基于玉米膜下滴灌系统的药液扩散与除草效果研究\*

郭致杰<sup>1, 2</sup>, 张海英<sup>1, 2</sup>, 李建军<sup>1, 2</sup>, 徐生军<sup>1, 2</sup>, 荆卓琼<sup>1, 2</sup>, 吕和平<sup>3</sup>

(1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070; 2. 农业部天水作物有害生物科学观测实验站, 甘肃甘谷 741299; 3. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 兰州 730070)

**摘要:** 利用膜下滴灌系统, 开展膜下滴灌土壤封闭式除草剂施用技术与田间杂草防除效果的关系研究, 旨在探明滴灌系统应用除草剂的可能性, 为玉米田间滴灌除草技术的合理应用及丰富滴灌施药理论提供科学依据。在三个不同滴灌带间距下, 以三种方式滴施 40%乙·莠悬乳剂, 滴施后对不同分布区域土壤样品进行除草剂浓度检测, 在杂草发生期调查防效。结果表明, 施用后除草剂在土壤中的分布与滴灌带铺设间距无关, 与末次施药后清水冲洗时间相关, 冲洗时间越长乙草胺在土壤中的浓度越低, 垂直沉降明显, 径向扩散距离缩短。通过滴施, 以滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 5 min 对杂草的株防效和鲜生物量防效最佳。本研究认为, 覆膜玉米田随滴灌水施用土壤封闭除草剂是可行的, 省时省工省力, 可为玉米田早期杂草的防除提供新方法, 实际应用中需要针对不同药剂类型和药剂性质开展实用技术优化研究。

**关键词:** 膜下滴灌; 土壤封闭除草剂; 施药技术; 分布规律; 除草效果

**中图分类号:** S451.22      **文献标志码:** A

## Medicinal Liquid Diffusion and Weed Control Effect Based on Drip Irrigation System Under Maize Film

GUO Zhijie<sup>1, 2</sup>, ZHANG Haiying<sup>1, 2</sup>, LI Jianjun<sup>1, 2</sup>, XU Shengjun<sup>1, 2</sup>, JING Zhuoqiong<sup>1, 2</sup>, LYU Heping<sup>3</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Tianshui Crop Pest Scientific Observation and Experiment Station, Ministry of Agriculture, Gangu, Gansu 741299, China; 3. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** 【Objective】This study aimed to explore the possibility of herbicide application in a drip irrigation system. To do this, the relationship between the application technology of soil closed herbicide and the control effect of weeds in the field were studied by using a drip irrigation system under film. 【Method】Under three different drip irrigation belt spacing, 40% ethyl atrazine emulsion was applied in three ways. After the drip application, the herbicide concentration in soil samples in different

\* 国家重点研发计划项目(2021YFD1400200)、兰州市科技计划项目(2021-1-174)和甘肃省现代农业科技支撑体系区域创新中心重点科技项目(2021GAAS54)资助 Supported by the National Key R&D Program of China( No. 2021YFD1400200 ), the Science and Technology Project of Lanzhou City, Gansu Province, China (No. 2021-1-174) and the Key Project of Modern Agricultural Science and Technology Regional Innovation Center for Support System of Gansu Province, China (No. 2021GAAS54)

作者简介: 郭致杰(1972—), 男, 甘肃民勤人, 副研究员, 主要从事植物保护研究, E-mail: guozhijie@gsagr.ac.cn

收稿日期: 2021-12-27; 收到修改稿日期: 2022-03-27; 网络首发日期(www.cnki.net): 2022-06-11

distribution areas was evaluated. In order to provide a scientific basis for rational application of drip irrigation weed control technology in a maize field and enrich drip irrigation application theory, the control effect was investigated in the stage of weed occurrence. 【Result】 The results showed that the distribution of herbicide in soil after it was applied was not related to the laying distance of drip irrigation belt, but was related to washing time of water after the last application. The longer the washing time, the lower the concentration of acetochlor in soil, the obvious vertical settlement, and the shorter the radial diffusion distance. Through drip application, the control effect of weed plant and fresh weight was the best after 15 min of drip irrigation, 30 min of drip irrigation and 5 min of drip irrigation. 【Conclusion】 It is feasible to apply soil sealing herbicide with drip irrigation in a mulched maize field, which can save time, labor and energy, and provide a new method for early weed control in a maize field. Nevertheless, it is necessary to carry out practical technology optimization research according to different pesticide types and properties.

**Key words:** Drip irrigation under membrane; Soil sealing herbicide; Application technology; Distribution law; Weed control effect

玉米是我国主要的粮食作物之一,在农业和工业生产中均发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。甘肃作为全国最大和最具优势的玉米制种基地,2013年的制种面积达到10万 $\text{hm}^2$ ,占全国制种总面积的39.3%,制种产量为5.8亿 $\text{kg}$ ,占全国制种量的42.6%<sup>[2]</sup>,然而,玉米田间杂草则成为制约玉米高产稳产的重要因素之一。据联合国粮农组织统计,每年全世界因草害造成的玉米产量损失占玉米总产量的13%<sup>[3]</sup>。近年来,随着耕作栽培制度的改变和膜下滴灌技术的大面积推广应用,覆膜玉米田杂草趋于复杂化,危害程度日趋严重,对产量造成很大影响<sup>[4]</sup>。目前对覆膜玉米田杂草的防除仍然以玉米播后膜前,采用地表药剂封锁技术防除<sup>[5]</sup>,而膜下滴灌施药,不仅可将农药精准、适时、适量地注入土壤,达到防治病虫害的目的,而且省时、省力、节水、增产,对非靶标生物和天敌安全<sup>[6]</sup>,开展膜下滴灌土壤封闭式除草剂施用技术与田间杂草防除效果的关系研究,可以为玉米田间滴灌除草技术的合理应用及丰富滴灌施药理论提供科学依据。

滴灌施药是一种可将农药安全有效地引入植物根系周围土壤的有效方法,同时可以保持绿洲农田的大孔隙特征和土壤水分入渗性能<sup>[7-10]</sup>,因可以有效控制作物病虫害的发生,受到国内外农业工作者的普遍关注。Arrington等<sup>[11]</sup>研究表明,滴灌施用毒死蜱可有效控制草地粘虫,提高农药的利用率。也有研究表明,滴灌施药在防治作物根结线虫病上有着独特的优势,如使用噻唑膦<sup>[12]</sup>等杀线虫剂对于控制蔬菜及经济作物的根结线虫病效果显著。此外,滴灌施药不仅仅局限于杀虫剂的使用,也有研究滴

施苯醚甲环唑防治棉花黄萎病<sup>[13]</sup>等。除草剂在滴灌中的应用相对较晚,Mondayta等<sup>[14]</sup>报道了滴灌应用氯吡氟磺胺草醚、异丙甲草胺可有效控制油莎草;程功等<sup>[15]</sup>研究了5种土壤处理除草剂随水滴施防治烟草田杂草,不但可以有效抑制杂草生长,而且可显著改善烟草的经济和农艺性状。尽管滴灌施药在蔬菜及经济作物上取得了一些进展,但对大田作物的应用和研究少有报道,尤其对除草剂的应用尚需开展更深入的研究。本研究通过三种不同的膜下滴灌施药方式,探究土壤封闭除草剂40%乙·莠悬乳剂在不同滴灌带铺设间距下对玉米田杂草的防除效果和土壤中的分布规律,以期为玉米膜下滴灌安全使用土壤封闭式除草剂及水药一体化技术的深入广泛应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试玉米为郑丹958,市售品种。供试药剂为40%乙·莠悬乳剂,由河北荣威生物药业有限公司生产,用量为 $4.5\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。滴灌带布设方式为“1膜1带2行”,压片式滴头,滴头间距30 $\text{cm}$ ,滴头流量为 $2.0\sim 2.3\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ ,酒泉大禹节水有限公司生产。

### 1.2 试验地概况

试验地设在甘肃武威市中心灌溉试验站( $37^{\circ}52'\text{N}$ ,  $102^{\circ}50'\text{E}$ )。该地区属甘肃沙漠绿洲灌溉区,海拔1730 $\text{m}$ 左右,土壤质地属灰钙质轻砂壤土,富含氮、磷、钾,土壤偏碱性,  $\text{pH}$  7.4。土壤通透性好,孔隙率为52%,田间最大持水率为22%~

25%，土壤有机质含量 0.4~0.8 g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.3 试验设计

本试验设滴灌带间距三个，分别为 0.9 m、1.1 m、1.3 m，滴灌施药方式分别为 A、B、C（详见表 1），不同间距设土壤覆膜前喷施除草剂 CK1（常规施药）和不施除草剂 CK2 为对照，共 15 个处理，每个小区面积 300 m<sup>2</sup>，随机区组排列，重复 3 次。

播种前基施农家肥 20 t·hm<sup>-2</sup>、纯氮 100 kg·hm<sup>-2</sup>、五氧化二磷 50 kg·hm<sup>-2</sup>。玉米大喇叭口期按 150 kg·hm<sup>-2</sup> 追施尿素，玉米全生育期灌水 3 次。前茬作物为小麦，未使用除草剂。露地覆膜栽培，地膜幅宽 700 mm，厚度 0.008 mm，覆膜后穴播机人工穴播，每穴玉米籽粒 1~2 粒，播种量 37.5 kg·hm<sup>-2</sup>，每幅膜上双行种植，株行距 30 cm×40 cm。

表 1 试验各处理设置情况

Table 1 Test settings of each treatment

编号 Dealing Numbers	试验处理 Treatment	滴灌带间距 Spacing between drip irrigation pipe /m	滴灌方式 Drip irrigation mode
1	0.9A	0.9	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 20 min
2	0.9B	0.9	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 10 min
3	0.9C	0.9	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 5 min
4	0.9CK1	0.9	乙草胺喷施后覆膜，滴灌处理同期滴清水 55 min
5	0.9CK2	0.9	覆膜种植后，滴灌处理同期滴清水 55 min
6	1.1A	1.1	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 20 min
7	1.1B	1.1	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 10 min
8	1.1C	1.1	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 5 min
9	1.1CK1	1.1	乙草胺喷施后覆膜，滴灌处理同期滴清水 55 min
10	1.1CK2	1.1	覆膜种植后，滴灌处理同期滴清水 55 min
11	1.3A	1.3	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 20 min
12	1.3B	1.3	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 10 min
13	1.3C	1.3	滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 5 min
14	1.3CK1	1.3	乙草胺喷施后覆膜，滴灌处理同期滴清水 55 min
15	1.3CK2	1.3	覆膜种植后，滴灌处理同期滴清水 55 min

### 1.4 试验方法及测定内容

**1.4.1 土壤样品采集及测定** 除草剂滴施完毕 24 h 后，每小区按对角线 5 点取样，每点 3 个滴头，以滴灌原点为圆心，距离圆心 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm，环带上分别取深度 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 的试验土样，每个环带上取三个点，相同部位土壤进行混匀装入自封袋，做好标记，-18℃ 冷冻保存待检。待检土样送欧陆分析技术服务（苏州）公司进行除草剂有效成分乙草胺和莠去津含量的检测，由于莠去津在待检的所有样品中含量均较低，无法做相关分析，故本文仅探讨乙草胺在土壤中的分布情况，其中检出

值低于 0.05 mg·kg<sup>-1</sup> 的数据，均以 0.05 mg·kg<sup>-1</sup> 做分析。

**1.4.2 施药时间及防效调查** 5 月 13 日上午滴灌施药，共施药 1 次，分别于药后 15 d（6 月 13 日）目测各处理对田间杂草的防效；药后 30 d（7 月 13 日）每小区按对角线 5 点取样，每点 1 m<sup>2</sup>，调查膜内杂草种类和株数，计算株防效；药后 45 d（7 月 4 日）按同样方法调查杂草种类和株数，并称地上部鲜物质量，计算株防效和鲜物质量防效。

株防效/% = (对照区杂草株数 - 处理区杂草株数) / 对照区杂草株数 × 100

鲜物质量防效/%=(对照区杂草鲜物质量-处理区杂草鲜物质量)/对照区杂草鲜物质量×100

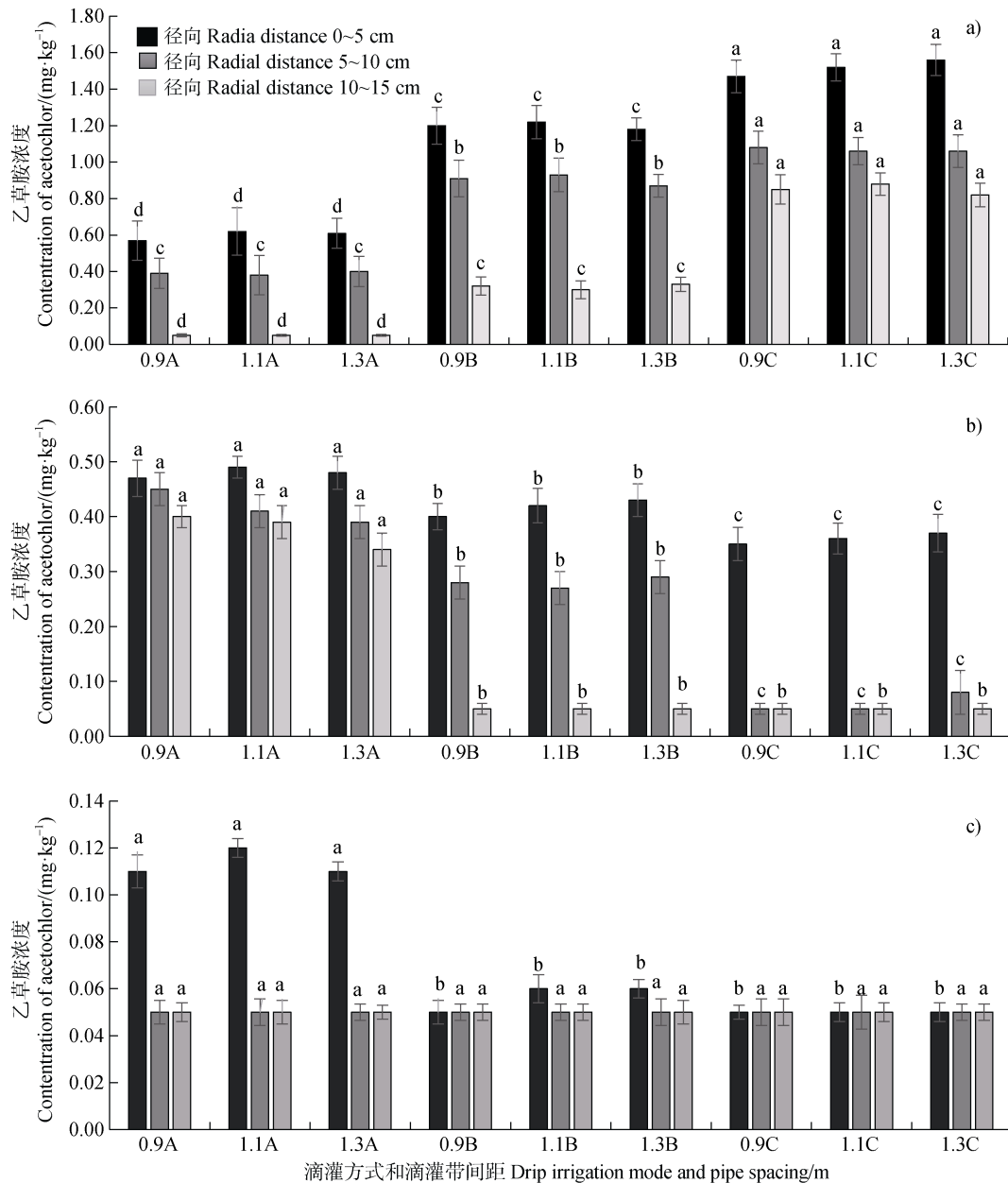
### 1.5 数据处理

利用 Excel2007 软件进行数据处理, 采用 DPS7.05 软件进行最小显著差异法 (LSD) 检验; 采用 SigmaPlot14.0 软件构建乙草胺在土壤中的空间分布图。

## 2 结果

### 2.1 乙草胺在不同深度土壤中的分布

乙草胺在 0~5 cm 深度土层中的分布见图 1a, 由图 1a 可知乙草胺在同一滴施方式下, 在土壤中的浓度以滴头为中心, 径向 0~15 cm 范围逐渐扩散降低, 其范围为 0.05~1.56 mg·kg<sup>-1</sup>, 其中径向 0~5 cm



注: 不同字母表示同一径向距离、不同处理间差异达 5% 显著水平。下同。 Note: Different letters showed a significant difference at a 5% level among different treatments in the same radial distance. The same below.

图 1 不同处理下乙草胺在 0~5 cm (a)、5~10 cm (b)、10~15 cm (c) 土层中的分布

Fig. 1 Distribution of acetochlor in 0~5 cm (a), 5~10 cm (b) and 10~15 cm (c) soil layer under different treatments

的浓度为  $0.57\sim 1.56\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，径向  $5\sim 10\text{ cm}$  的浓度为  $0.38\sim 1.06\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，径向  $10\sim 15\text{ cm}$  的浓度为  $0.05\sim 0.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，浓度变化以径向表现为： $0\sim 5\text{ cm}>5\sim 10\text{ cm}>10\sim 15\text{ cm}$ 。三种不同的滴施方式，相同径向土壤中乙草胺的浓度在三种处理间存在显著差异，药剂在滴头点相对集中，其中 C 处理浓度相对最高，其次为 B 处理，A 处理的浓度相对最低。在同一滴施方式下，乙草胺在土壤中的浓度基本相同，不同滴灌带间距不存在显著差异。

乙草胺在  $5\sim 10\text{ cm}$  深度土层中的分布见图 1b，由图可知同一施药方式下，乙草胺在土壤中的浓度仍然以滴头垂直方向为中心，径向由高到低依次为  $0\sim 5\text{ cm}$ 、 $5\sim 10\text{ cm}$ 、 $10\sim 15\text{ cm}$ ，其中径向  $0\sim 5\text{ cm}$  的浓度为  $0.35\sim 0.49\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，径向  $5\sim 10\text{ cm}$  的浓度为  $0.05\sim 0.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，径向  $10\sim 15\text{ cm}$  的浓度为  $0.05\sim 0.40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。三种不同滴施方式下，乙草胺以 A 方式滴施的浓度相对较高，其次为 B 方式，C 方式相对较低，不同滴灌带间距乙草胺的浓度则不存在显著差异。

乙草胺在  $10\sim 15\text{ cm}$  深度土层中的分布见图 1c，在三种不同的滴施方式下，以 A 方式滴施的乙草胺在径向  $0\sim 5\text{ cm}$  的浓度相对较高， $0.9\text{ m}$ 、 $1.1\text{ m}$  和  $1.3\text{ m}$  三个滴灌带下的浓度分别为  $0.11\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $0.11\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，B 方式滴施的浓度在  $0.05\sim 0.06\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间，C 滴施方式的浓度均低于  $0.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。三种滴施方式乙草胺在径向  $5\sim 10\text{ cm}$  和  $10\sim 15\text{ cm}$  土壤中的浓度均小于  $0.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，即三种滴施方式下，在径向  $10\sim 15\text{ cm}$  土层药剂移动

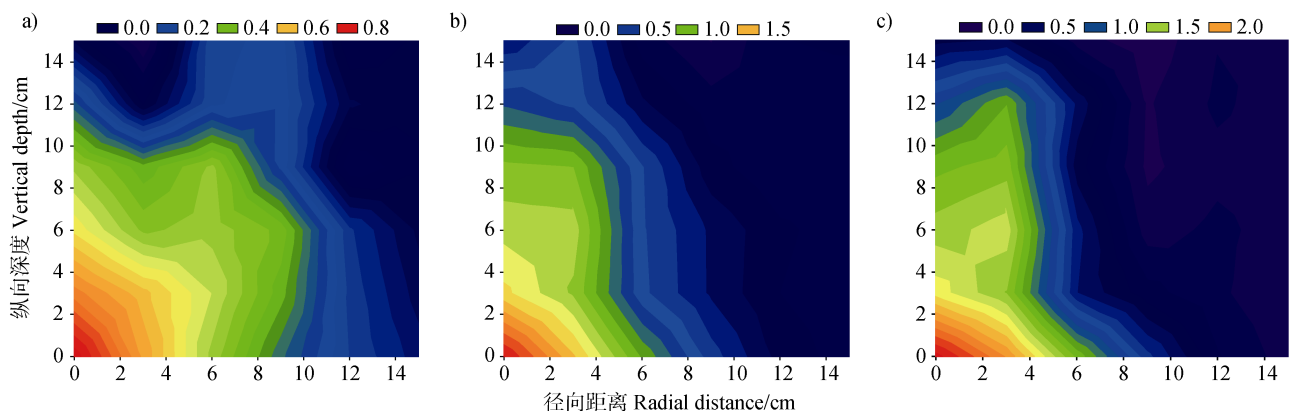
较缓，相同施药方式下不同滴灌带间差异均不显著。

## 2.2 乙草胺在不同滴施方式下土壤中的分布

由 2.1 节结果可知，同一施药方式下，乙草胺在不同滴灌带间距下土壤中的浓度差异不显著，故以  $1.1\text{ m}$  滴灌带间距为例做关于不同滴施方式下乙草胺在土壤中的空间分布图（图 2）。由图可知，在三种不同滴施方式下，乙草胺在土壤中的空间分布均以滴头为中心，向水平和垂直方向逐渐扩散降低，其中垂直方向的扩散大于水平移动的距离。不同滴施方式乙草胺在径向  $0\sim 10\text{ cm}$  和纵向  $0\sim 10\text{ cm}$  范围空间分布存在显著差异，其中 C 处理清水冲洗  $5\text{ min}$  后，乙草胺的浓度相对较高，在小于  $1.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  范围内（图 2c），B 处理清水冲洗  $10\text{ min}$ ，浓度在小于  $0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  范围内（图 2b），A 处理清水冲洗  $20\text{ min}$ ，其浓度含量相对较低，在小于  $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  范围内（图 2a），并且清水冲洗时间越长，乙草胺在相同空间土壤中的浓度越低，垂直扩散加剧，径向扩散距离缩短，说明药剂在土壤中的分布与灌水量有关。

## 2.3 不同施药方式下乙草胺对田间杂草的防除效果

通过膜下滴灌施药，乙草胺对田间杂草具有一定的防除效果，不同施药方式存在显著差异（表 2），其中 C 处理对杂草的防效最好，其次为 B 处理，A 处理的防效相对较低，而不同滴灌带间距差异不显著。药后  $30\text{ d}$ ， $0.9\text{ m}$ 、 $1.1\text{ m}$  和  $1.3\text{ m}$  滴灌带 C 处理对杂草的株防效分别为  $72.4\%$ 、 $74.2\%$  和  $73.3\%$ ，鲜生物量防效分别为  $78.6\%$ 、 $80.2\%$  和  $78.0\%$ ，A 处理对杂草的株防效  $0.9\text{ m}$ 、 $1.1\text{ m}$  和  $1.3\text{ m}$  滴灌带分别



注：图例表示乙草胺浓度， $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Note: The legend shows the acetochlor concentration,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

图 2 A (a)、B (b)、C (c) 方式滴施后乙草胺在土壤中的分布

Fig. 2 Distribution of acetochlor in soil after drip irrigation by mode A (a), B (b) and C (c)

为 56.5%、57.6%和 55.6%，鲜生物量防效分别为 62.6%、61.3%和 61.2%；药后 45 d，乙草胺对田间杂草的株防效和鲜生物量防效均有所降低，C 处理对杂草的株防效为 67.6%~68.3%，鲜生物量防效为 73.5%~74.3%，B 处理对杂草的株防效为 58.2%~61.6%，鲜生物量防效为 65.3%~67.3%，A 处理对杂草的株防效为 52.3%~55.6%，鲜生物量防效为 58.1%~60.5%，不同滴施方式仍然存在显著差异，

不同滴灌带间距则差异不明显。

由表 2 还可以看出，乙草胺通过土壤喷施后覆膜对田间杂草的株防效和鲜生物量防效均与滴灌施药存在显著差异，喷药后覆膜的方式对田间杂草的防效明显优于膜下滴灌除草，其药后 30 d 的株防效为 80.6%~81.8%，鲜生物量防效为 85.4%~86.0%，药后 45 d 的株防效为 75.6%~78.4%，鲜生物量防效为 80.4%~84.5%。

表 2 不同处理下乙草胺对杂草的防除效果

Table 2 Control efficacy of acetochlor on weeds under different treatments

处理 Treatment	药后 30 d 30 days after application		药后 45 d 45 days after application	
	株防效 Control effect of the plant	鲜生物量防效 Control effect of the fresh	株防效 Control effect of the plant	鲜生物量防效% Control of the fresh
	number/%	biomass/%	number/%	biomass/%
0.9A	56.5d	62.6d	52.3d	58.5d
0.9B	63.9c	68.3c	61.6c	67.3c
0.9C	72.4b	78.6b	68.3b	73.8b
0.9Ck1	80.6a	85.5a	76.6a	80.4a
1.1A	57.6d	61.3d	54.3d	58.1d
1.1B	63.5c	67.8c	58.2c	65.8c
1.1C	74.2b	80.2b	67.6b	73.5b
1.1Ck1	81.8a	85.4a	75.6a	80.7a
1.3A	55.6d	61.2d	55.6d	60.5d
1.3B	65.4c	69.3c	60.6c	65.3c
1.3C	73.3b	78.0b	68.2b	74.3b
1.3Ck1	81.2a	86.0a	78.4a	84.5a

### 3 讨论

#### 3.1 滴灌施药后除草剂在土壤中的分布

滴灌作为一种高效的节水灌溉方法，与施药结合起来，不仅可为植物提供精确的水分和农药化学防护，而且可提高农药的利用率，减少农药使用，节省更多的劳动力，降低生产成本，在干旱和半干旱地区，该技术在减少或消除药剂对人类和非靶标有机体的影响及环境的退化中发挥着一定作用<sup>[16-17]</sup>。目前滴灌施药的种植模式已在我国农业生产中得到广泛应用，但主要用于杀虫剂方面。有研究表明，

土壤的初始含水量、有机质含量、颗粒组成等理化因素对滴灌施肥、施药的水分及氮素的扩散分布存在显著影响，使药、肥在土壤中分布不同<sup>[18-20]</sup>。也有研究表明，农药剂型、滴头流量、灌水量、药液的滴灌顺序也会影响药剂在土壤中的湿润范围及水平和垂直扩散的距离<sup>[21-24]</sup>。本研究中，乙草胺以清水-药液-清水的顺序滴施，三种不同滴施方式以最后一次清水冲洗的时间有所不同，冲洗时间越长乙草胺在相同空间土壤中的浓度越低，垂直沉降明显（图 2），说明乙草胺在土壤中的分布与灌水量有关。但药剂在土壤中的分布受多种因素影响，本研

究仅对不同施药方式膜下区域药液分布和防效做了分析, 药剂在土壤中的空间分布也仅提取了 24 h 土样进行了测定分析, 后期随着时间推移药剂是否在土壤间隙继续分散、是否与灌水和径流有关尚待继续试验验证, 也是这种新施药模式探索所提出的新科学问题和技术问题, 而药剂本身性质、剂型、土壤特性、外界温度等其他因素如何对乙草胺的分布起作用、滴灌时间等与药效的关联性等尚不清楚, 有待进一步地深入研究。

本研究中滴灌带铺设间距对乙草胺在土壤中的分布不存在显著影响, 三种不同的滴施方式下, 乙草胺在土壤中的浓度均是以滴头为中心, 药剂浓度在径向和垂直范围逐渐降低(图 2)。就实际测定 A、B、C 三种方式纵向和深度扩散距离而言, A 滴灌方式在径向和纵向扩散距离较大, 湿润体较大, 但实际调查却发现除草效果均为 C 滴灌方式较佳(表 2), 由此可见, 除草剂滴灌使用除草实际效果与药剂有效成分在土层中分布浓度有关, 并非扩散越广除草效果越佳, 这正是本文探索滴施时间间隔和清水冲洗时间等目的所在, 冲洗时间和冲洗顺序最终会影响药剂分散后不同土层药剂的浓度, 从而造成除草效果的差异。

### 3.2 除草剂对杂草的防除效果

化学除草是消灭农田杂草、保证作物增产的重要手段, 在近代农业生产中发挥着重要作用。乙草胺作为一种高选择性、高效酰胺类的土壤处理剂, 目前是我国使用最广泛的除草剂之一, 主要用于玉米、大豆、花生、马铃薯等作物田间杂草的防除, 对一年生禾本科杂草、部分阔叶杂草等具有较好的防除效果<sup>[25-27]</sup>。本研究通过滴灌施用 40%乙·莠悬乳剂对玉米田间杂草的防除结果表明, 该药剂对田间杂草具有一定的防除效果, 不同施药方式存在显著差异, 而不同滴灌带间距间差异不显著(表 2)。在药后 30 d, 以 C 处理对杂草的株防效和鲜生物量防效最佳, B 处理次之, 而 A 处理的防效相对较低, 这可能与乙草胺在土壤中的分布有关, C 方式滴施的乙草胺, 在土层深度 0~5 cm、径向 0~15 cm 范围内的浓度较其他两种滴施方式高(图 2)。而土壤封闭除草剂对杂草的防除机理正是利用药剂在表土层 1~5 cm 的范围形成药膜达到杀死或抑制杂草的作用<sup>[28]</sup>, 据报道在免耕方式下土壤表层 0~5 cm 处杂草种子库占到 90%, 仅 1%分布在 10~15 cm 土

层中<sup>[29]</sup>, 说明药剂在表土层 0~5 cm 的有效分布是防除杂草的关键。另有研究表明, 土壤处理除草剂对杂草的防治效果与土壤湿润以及接触的程度有关, 地表土壤湿润, 药滴可在湿润的地表扩散, 容易形成均匀的用药层, 使杂草不能生长而死亡<sup>[28,30]</sup>, 滴灌施药可使药剂与土壤混匀, 并保持土壤湿润, 使除草效果达到最佳。程功等<sup>[15]</sup>利用滴灌施用 5 种不同的土壤处理剂防治烟草田间杂草, 结果表明, 与不施除草剂相比滴灌施药对杂草的防治效果可达 90.97%以上, 与微喷灌相比可达 72.56%以上, 并且滴灌施药在提高烟叶产量、上等烟产量、有效叶片数、叶面积系数方面, 与对照间的差异达到了极显著水平。

## 4 结 论

覆膜种植玉米田膜下滴灌施用除草剂 40%乙·莠悬乳剂, 滴施后乙草胺在土壤中的分布与滴灌带铺设间距无关, 与不同施药方式下最后一次清水冲洗时间相关(即灌水量), 冲洗时间越长乙草胺在相同空间土壤中的浓度越低, 垂直沉降明显, 径向扩散距离缩短。通过滴灌施药, 除草剂对田间杂草具有一定的防除效果, 以滴灌清水 15 min-滴灌药液 30 min-滴清水冲洗 5 min 对杂草的株防效和鲜生物量防效最佳, 因此, 覆膜玉米田随滴灌水施用土壤封闭除草剂是行之有效的, 特别在春季劳动力比较集中时, 滴灌系统省时省工省力, 可为玉米田早期杂草的防除提供新方法, 但是后期膜间杂草防除效果很有限, 需结合中耕进行人工除草, 本研究仅采取一种药剂开展了滴灌模式下除草剂使用探索, 实际应用中尚需针对不同药剂类型和药剂性质开展实用技术研究。

### 参考文献 (References)

- [1] Chen Y J, Wang Q Q, Xiang Y. Analysis on the status, superiority and self-sufficiency ratio of maize in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40 (1): 7—16. [陈印军, 王琦琪, 向雁. 我国玉米生产地位、优势与自给率分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40 (1): 7—16.]
- [2] Liu H Q. Current situation of the development of maize seed industry in China and the strategic choice[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36 (1): 9—14. [刘海启. 我国玉米制

- 种产业发展现状及战略选择[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 9—14.]
- [ 3 ] Zhao J R, Wang R H, Chen C Y. Technology for corn production[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011. [赵久然, 王荣焕, 陈传永. 玉米生产技术大全[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.]
- [ 4 ] Li X L. Study on occurrence and control technology of dominant weeds in maize field[J]. Plant Doctor, 2010, 23(5): 45—46. [李小玲. 玉米田优势杂草发生规律及防除技术研究[J]. 植物医生, 2010, 23(5): 45—46.]
- [ 5 ] Gao J S, Li W D, Song X X, et al. Investigation of occurring regularity and control techniques of weed in film-covered corn field[J]. Journal of Henan Vocation-Technical Teachers College, 2002, 30(4): 16—18. [高九思, 李卫东, 宋晓希, 等. 覆膜玉米田杂草发生规律及防除技术研究[J]. 河南职业技术学院学报, 2002, 30(4): 16—18.]
- [ 6 ] Li Q, Fu B L, Qiu H Y, et al. Controlling *Thrips hawaiiensis* of banana: Application prospect of pesticides through drip irrigation[J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(4): 14—18. [李强, 付步礼, 邱海燕, 等. 滴灌施药技术防治香蕉黄胸蓟马应用展望[J]. 农学学报, 2018, 8(4): 14—18.]
- [ 7 ] Ning S R, Shi J C, Zuo Q, et al. Generalization of the root length density distribution of cotton under film mulched drip irrigation[J]. Field Crops Research, 2015, 177: 125—136.
- [ 8 ] Vieira R F, Sumner D R. Application of fungicides to foliage through overhead sprinkler irrigation a review[J]. Pest Management Science, 2015, 55(4): 412—422.
- [ 9 ] Jia A Y, Zhang Y Y, Zhao W Z, et al. Characteristics of soil macropores and water infiltration in oasis croplands in an arid region[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59(2): 486—497. [贾昂元, 张勇勇, 赵文智, 等. 干旱区绿洲农田土壤大孔隙与水分入渗特征[J]. 土壤学报, 2022, 59(2): 486—497.]
- [ 10 ] Ma M M, Lin Q, Xu S H. Water infiltration characteristics of layered soil under influences of different factors and estimation of hydraulic parameters[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(2): 347—358. [马蒙蒙, 林青, 徐绍辉. 不同因素影响下层状土壤水分入渗特征及水力学参数估计[J]. 土壤学报, 2020, 57(2): 347—358.]
- [ 11 ] Arrington A E, Kennedy G G, Abney M R. Applying insecticides through drip irrigation to reduce wireworm (Coleoptera: Elateridae) feeding damage in sweet potato[J]. Pest Management Science, 2016, 72(6): 1133—1140.
- [ 12 ] Li Q J. The key techniques of controlling root-knot nematodes by drip irrigation[D]. Nanning: Guangxi University, 2018. [李秋捷. 滴灌法施药防治香蕉根结线虫病的应用技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.]
- [ 13 ] Shi L. Effects of biological agent chamigation on cotton verticillium wilt and soil microecology under drip irrigation conditions[D]. Shihezi, Xinjiang: Shihezi University, 2017. [石磊. 生物药剂随水滴施对棉花黄萎病及土壤微生态的影响[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2017.]
- [ 14 ] Mondayta T A, Foshee W G, Blythe E K. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control and tomato response to application methods of drip-applied herbicides in polyethylene-mulched tomato[J]. Weed Technology, 2015, 29(3): 625—632.
- [ 15 ] Cheng G, Wei Y C, Wang W C, et al. Effects of herbicides applied with drip irrigation water on weeds and tobacco growth[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(4): 85—90. [程功, 魏义长, 王维超, 等. 除草剂随滴灌水施用的除草效果及对烟草生长的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(4): 85—90.]
- [ 16 ] Shi C D. The promotion and application of drip irrigation technology[J]. Agricultural Machinery, 2018(9): 87—89. [史才德. 膜下滴灌技术推广与应用[J]. 农业机械, 2018(9): 87—89.]
- [ 17 ] Mao M. Numerical simulation of atrazine transport in soil under drip irrigation and at field scale[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. [毛萌. 阿特拉津在室内滴灌施药条件和农田尺度下运移的数值模拟[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.]
- [ 18 ] Luo W Y, Wang Y C, Xi J G. Movement and transformation of soil moisture under drip-irrigation[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2006, 12(3): 16—19. [罗文扬, 王一承, 习金根. 滴灌条件下土壤水分运移动态研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(3): 16—19.]
- [ 19 ] Wang D, Shannom MC, Grieve C M. Soil water and temperature regimes in drip and sprinkler irrigation and implications to soybean emergence[J]. Agricultural Water Management, 2000, 43(1): 15—28.
- [ 20 ] Kong D Y, Xu J, Han Z H, et al. Adsorption and leaching behavior of seven pesticides in three different soils[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2012, 14(5): 545—550. [孔德洋, 许静, 韩志华, 等. 七种农药在3种不同类型土壤中的吸附及淋溶特性[J]. 农药学报, 2012, 14(5): 545—550.]
- [ 21 ] Li D X, Dai X P, Feng J, et al. Effect of emitter discharge and irrigation amount on soil water movement under drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2012(2): 13—15. [李道西, 代小平, 冯江, 等. 滴头流量和灌水量对滴灌土壤水分运动的影响[J]. 节水灌溉, 2012(2): 13—15.]
- [ 22 ] Li D P. Physicochemical behavior of sulfonylurea herbicides in soil[J]. Soils, 1996, 28(3): 128—133. [李德平. 磺酰脲类除草剂在土壤中的物理化学行为[J]. 土壤, 1996, 28(3): 128—133.]



- [ 23 ] An Q, Luo Y M, Ni J, et al. Determination of herbicide butachlor residue in paddy soil and its application[J]. *Soils*, 2000, 32 ( 2 ): 107—111. [安琼, 骆永明, 倪俊, 等. 水田土壤中除草剂丁草胺残留的测试方法及其应用[J]. *土壤*, 2000, 32 ( 2 ): 107—111.]
- [ 24 ] Russo D, Zaidell J, Laufer A, et al. Numerical analysis of transport of trifluralin from a subsurface dripper[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65 ( 6 ): 1648—1658.
- [ 25 ] Cui B B, Wang W Y, Li Y F, et al. Control effect of acetochlor using by sand method against weeds in maize field[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43 ( 23 ): 101—102, 116. [崔必波, 王伟义, 李亚芳, 等. 乙草胺采用药砂法防除玉米地杂草的效果[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43 ( 23 ): 101—102, 116.]
- [ 26 ] Ding W, Zhao H N. Weed control and soybean response to application of acetochlor in different periods[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2019, 50 ( 5 ): 35—42. [丁伟, 赵慧凝. 乙草胺不同时期施用对大豆安全性和杂草防效影响[J]. *东北农业大学学报*, 2019, 50 ( 5 ): 35—42.]
- [ 27 ] Li F. Application of acetochlor and “acetochlor +prometryne” in potato field[D]. Jinzhong, Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2014. [李斐. 乙草胺及其混剂在马铃薯田的应用研究[D]. 山西晋中: 山西农业大学, 2014.]
- [ 28 ] Li C H. The analysis and solutions of different efficacy of herbicides were spraiied before seedling after sowing in corn field[J]. *Agriculture and Technology*, 2018, 38 ( 4 ): 23—24, 110. [李朝辉. 玉米播后苗前除草剂药效差异问题分析与解决措施[J]. *农业与技术*, 2018, 38 ( 4 ): 23—24, 110.]
- [ 29 ] Swanton C J, Shrestha A, Knezevic S Z. Influence of tillage type on vertical weed seed bank distribution in a sandy soil[J]. *Canadian Journal Plant Science*, 2000, 80: 455—457.
- [ 30 ] Zhang R F. The analysis and solutions of different efficacy of herbicides spraiied before seedling after sowing in corn field[J]. *Chinese Agricultural Digest·Agriculture Engineering*, 2018 ( 5 ): 71—73. [张瑞芳. 玉米播后苗前除草剂药效差异问题分析与解决措施[J]. *中国农业文摘·农业工程*, 2018 ( 5 ): 71—73.]

( 责任编辑：陈荣府 )