

# 药液稀释倍数对威百亩分解产生异硫氰酸甲酯及其消解的影响

陈新华<sup>1</sup>, 唐秀军<sup>2</sup>, 张毅<sup>2</sup>, 方文生<sup>2</sup>, 颜冬冬<sup>2</sup>, 李园<sup>2</sup>,  
曹坳程<sup>2</sup>, 白庆荣<sup>1\*</sup>, 王秋霞<sup>2\*</sup>

(1. 吉林农业大学, 长春 130033; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要** 种植前施用威百亩进行土壤熏蒸消毒, 其分解产生的异硫氰酸甲酯(methyl isothiocyanate, MITC)可有效控制土传病原菌。威百亩以滴灌方式施用更为方便、安全, 但在滴灌前的稀释过程中可能会水解产生 MITC, MITC 继续消解或挥发导致进入土壤的有效成分量减少。因此有必要筛选适宜的威百亩稀释倍数, 保证 MITC 在土壤中分布均匀的同时减少威百亩分解及 MITC 消解和挥发导致的损失。本文研究了不同 pH 条件下稀释倍数对威百亩水解产生 MITC 及 MITC 消解的影响。结果表明, 在中性条件下, 由威百亩水解产生的 MITC 量及其消解速率均随稀释倍数增加而增加; 在酸性条件下, 稀释 100 倍时 MITC 的产生量及消解速率均为最大, 稀释 50 倍时 MITC 的产生量最低, 稀释 400 倍时 MITC 消解最慢; 在碱性条件下, MITC 的产生量随稀释倍数增加而增加, 消解速率为稀释 1 000 倍时最快, 稀释 100 倍时最慢。研究结果对滴灌施用威百亩时田间用水量及威百亩用量均具有指导意义。

**关键词** 威百亩; 异硫氰酸甲酯; 滴灌施药; 稀释倍数; 消解

**中图分类号:** S 482.6 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2023005

## Effect of dilution ratio on the amount of metam sodium-produced methyl isothiocyanate and its dissipation

CHEN Xinhua<sup>1</sup>, TANG Xiujun<sup>2</sup>, ZHANG Yi<sup>2</sup>, FANG Wensheng<sup>2</sup>, YAN Dongdong<sup>2</sup>, LI Yuan<sup>2</sup>,  
CAO Aocheng<sup>2</sup>, BAI Qingrong<sup>1\*</sup>, WANG Qiuxia<sup>2\*</sup>

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130033, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract** Pre-plant soil fumigation with metam sodium can effectively control soil-borne pathogens, which is attributed to methyl isothiocyanate (MITC), a degradation product of metam sodium. It is convenient and safe to apply metam sodium by drip irrigation. However, in dilution process before drip irrigation metam sodium may produce MITC through hydrolysis, which will continue to degrade or volatilize, resulting in a decrease of effective components in the soil. Therefore, it is necessary to select a suitable dilution multiple of metam sodium, which can ensure uniform distribution of MITC and reduce its loss by volatilisation or disintegration before being applied in the soil. In this study, the effect of dilution ratio on the amount of metam sodium-produced methyl isothiocyanate and its dissipation in aqueous solution were investigated under different pH conditions. The results showed that the amount of MITC and its dissipation rate increased with the increase of dilution ratio under neutral conditions. Under acidic conditions, the amount of MITC and its dissipation rate was maximum when diluted 100 times, the minimum amount of MITC occurred at 50 times of dilution, and the slowest dissipation rate was found at 400 times dilution. Under alkaline conditions, the produced MITC increased with the increase of the metam sodium dilution ratio, and the dissipation rate was the fastest when diluted 1 000 times, and was the lowest when diluted 100

收稿日期: 2023-01-04 修订日期: 2023-04-10

基金项目: 服务海南地方经济发展类项目(YDLH03)

\* 通信作者 E-mail: 白庆荣 bbbqqrrr@163.com; 王秋霞 wxqasy@163.com

times. The results have a guiding significance on how to formulate field water consumption, and application dosage when applying metam sodium by drip irrigation.

**Key words** metam sodium; methyl isothiocyanate; drip irrigation; dilution ratio; degradation

土壤熏蒸消毒技术于 1869 年首次实践应用,熏蒸剂以气体形式在土壤气相中扩散防治土传病害<sup>[1]</sup>。在过去的几十年里,溴甲烷(bromomethane, MeBr)作为广谱熏蒸剂,广泛应用于农田防治土壤有害生物<sup>[2]</sup>。但由于溴甲烷破坏臭氧层,1987 年《蒙特利尔议定书》呼吁逐步淘汰溴甲烷,2017 年中华人民共和国农业部公告第 2552 号要求自 2019 年 1 月 1 日起,将含溴甲烷产品的农药登记使用范围变更为“检疫熏蒸处理”,禁止含溴甲烷产品在农业上使用<sup>[3-4]</sup>。溴甲烷淘汰后,熏蒸剂威百亩在我国用量逐年增加。

威百亩的活性成分是其一级降解产物异硫氰酸甲酯(MITC)<sup>[5]</sup>。MITC 对大丽轮枝菌 *Verticillium dahliae*<sup>[6]</sup>、核盘菌 *Sclerotinia sclerotiorum*<sup>[7]</sup>、腐霉 *Pythium aphanidermatum*<sup>[8]</sup>、根结线虫(root-knot nematode)<sup>[9]</sup>、藜 *Chenopodium album*<sup>[10]</sup>、稗草 *Echinochloa crus-galli*<sup>[10]</sup> 等土壤有害生物均有较好防效。

MITC 的饱和蒸汽压相对溴甲烷较低,又易溶于水,以气体形式在土壤中的扩散范围小,所以为了增加 MITC 在土壤中的分布均匀度,生产中应用其前体物质威百亩或者棉隆。威百亩常用的剂型是 35% 或 42% 的水剂,可通过手动或者机动注射装备施药,也可通过滴灌系统或者大水漫灌施药,而采用滴灌系统施药,不需要专门的注射装备,又可在塑料薄膜下完成施药,所以兼具经济及对施药人员安全的优点。

滴灌施药时,为了整田均匀施药,需将威百亩水剂进行稀释,再进行滴灌。在田间,通过滴灌施用威百亩稀释倍数通常在 32~850 倍<sup>[11-13]</sup>。稀释后的威百亩在水溶液中易发生分解反应产生 MITC,而 MITC 在水中不稳定,易分解成  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ <sup>[14]</sup>。若威百亩水解速率过快,在滴灌施药过程中威百亩水解产生的 MITC 可能会通过挥发或者消解而损失,进入土壤中的有效成分就会减少,进而影响防治效果。已有研究表明,滴灌水量和滴灌速度对 MITC 在土壤中的分布有影响,在滴灌水量 45 L/m 及滴灌速度 1.9~5.0 L/(h·m) 时,MITC 在供试的砂壤土

中分布良好<sup>[15]</sup>。已有研究表明,滴灌药液浓度大于 1 500 mg/kg 时才对线虫有效<sup>[16]</sup>,因此为确保对土传病原物的防治效果,威百亩应尽可能以母体形式在土壤中迁移扩散,到达作用土层后分解产生 MITC。农药对酸碱度敏感性不同,Ruzo 等发现在 pH 为 5、7 和 9 的缓冲液中,威百亩的水解半衰期分别为 24、180 h 和 46 h<sup>[17]</sup>。我国水资源从北到南 pH 呈现出逐渐降低的特点<sup>[18]</sup>,刘旭艳等<sup>[19]</sup>对我国 12 个典型地区 10 年间降雨、地表水和地下水水质分析发现,农田生态系统 pH 通常在 5.55~8.27。本论文依据田间实际情况,研究了在 pH 5、7、9 条件下稀释 50~1 000 倍对 42% 威百亩水剂分解产生 MITC 及 MITC 消解的影响,明确稀释倍数和 pH 对威百亩和 MITC 水解程度的影响,研究结果可为因地制宜地滴灌施用威百亩时的技术参数制定提供理论支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试药剂及试剂

42% 威百亩水剂由江苏利民化学有限公司提供。MITC,分析纯(>98%)购自 Sigma-Aldrich Corporation(St Louis, USA)。色谱级乙酸乙酯(纯度 99.7%)和无水硫酸钠分别由北华精细化工有限公司(中国北京)和国药化学试剂有限公司(中国北京)提供。

### 1.2 仪器与设备

Agilent 气相色谱(6890 型)与质谱联用仪(5973 型),安捷伦(中国)有限公司;多管涡旋混合仪,杭州米欧仪器有限公司;pH 计(雷磁 PHSJ-4F 型),上海仪电科学仪器股份有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 中性条件下稀释倍数对威百亩转化产生 MITC 及其消解的影响

在宽颈广口瓶中加入 10、20、40、80 mL 和 200 mL 蒸馏水(pH=7),再分别加入 0.2 mL 42% 威百亩水剂,稀释倍数分别为 50、100、200、400、1 000 倍(对应的威百亩的初始浓度分别为 8 400、4 200、2 100、1 050、420 mg/L)。放入 25℃ 培养箱中 3 min、

15 min、30 min、1 h、1.5 h、2 h、3 h、4 h、2 d、5 d、11 d、17 d、80 d后,抽取1 mL水样到20 mL顶空瓶中,然后立即加入8 g无水硫酸钠和9 mL乙酸乙酯后盖上装有硅胶垫的铝盖,然后于2 000 r/min转速下振荡30 min。样品静置90 min后用2.5 mL无菌注射器抽取上清液过0.22 μm滤膜至2 mL进样瓶中,待测<sup>[20]</sup>。

### 1.3.2 酸性或碱性条件下稀释倍数对威百亩转化产生 MITC 及其消解的影响

pH=5.0 缓冲液的配制:取500 mL 0.1 mol/L的苯二甲酸氢钾溶液,加226 mL 0.1 mol/L氢氧化钠溶液,再用去离子水定容至1 000 mL。

pH=9.0 缓冲液的配制:分别取250 mL 0.1 mol/L的硼砂与0.1 mol/L氯化钾溶液,加208 mL 0.1 mol/L氢氧化钠溶液,再用去离子水定容至1 000 mL。

在宽颈广口瓶中加入10、20、40、80 mL和200 mL上述配制的缓冲溶液(pH=5.0、pH=9.0),在上述宽颈广口瓶中分别加入0.2 mL 42%威百亩水剂,对应的稀释倍数分别为50、100、200、400、1 000倍。放入25℃培养箱中5 min、15 min、30 min、1 h、1.5 h、2 h、3 h、4 h、6 h、3 d、7 d、17 d、34 d后按1.3.1方法制样。

### 1.3.3 MITC 分析方法

气相色谱条件为:载气(He)流速1.0 mL/min,入口温度250℃。

质谱仪条件如下:离子源和四极杆温度分别设置为230℃和150℃。定性离子为45 m/z和73 m/z,定量离子为73 m/z。

### 1.3.4 MITC 的添加回收率测定

配制10 000 mg/L的MITC母液,用蒸馏水将母液稀释至120、450、2 250、4 500 mg/L,按1.3.1中方法进行提取,每个处理设置5个重复。

## 1.4 数据分析

用一级降解动力学模型拟合MITC在水体中的消解行为<sup>[20]</sup>,方程如下:

$$C=C_0e^{-kt}$$

其中,C(mg/kg)表示t时刻水体中MITC浓度,C<sub>0</sub>(mg/kg)表示MITC在水体中的最高浓度,k(h<sup>-1</sup>)表示一级消解动力学常数。

MITC的消解半衰期(t<sub>1/2</sub>)的计算公式如下:

$$t_{1/2}=0.693/k$$

MITC消解动力学方程采用Origin 8.0拟合,数据统计分析采用SPSS 17.0软件分析完成,并采用Duncan氏新复极差法进行显著性分析。

威百亩转化为MITC的转化率计算公式如下:

$$y=\frac{X_1}{X_2}\times 100\%$$

其中,y(%)表示转化率,X<sub>1</sub>表示MITC测得实际浓度(mg/kg),X<sub>2</sub>表示加入威百亩按照碳原子摩尔比1:1转化为MITC计算所得理论MITC浓度(mg/kg)。

## 2 结果与分析

### 2.1 MITC 分析方法的准确度和精确度

对标样的峰面积y与对应质量浓度x(mg/L)进行线性回归分析,在0.5~500 mg/L范围内,R<sup>2</sup>=0.999 9,MITC在120、450、2 250、4 500 mg/L的添加水平下,MITC添加回收率分别为88.44%、108.82%、120.84%和91.54%,RSD<10%(表1)。

表1 MITC 在水中添加回收率和相对标准偏差(RSD)  
Table 1 Recoveries and relative standard deviation (RSD) of MITC in water

MITC 添加剂量/ (mg/L) Spiked dose of MITC	MITC 平均添加回收率/% Average recovery rate of MITC	RSD/%
120	88.44	5.51
450	108.82	7.23
2 250	120.84	8.60
4 500	91.54	1.20

### 2.2 中性条件下不同稀释倍数对威百亩转化产生 MITC 的影响

中性条件的不同稀释倍数下,威百亩转化产生MITC的动态变化趋势见图1,从图中可以看出加入威百亩后3 min,即可检测到MITC,这表明威百亩在水体中分解很快。在所有稀释倍数下威百亩转化产生的MITC量均随着时间的推移,呈现先增加而后在250 min后降低的趋势,这表明MITC在水体中可以持续分解。

中性条件下不同稀释倍数威百亩转化产生MITC的峰值、出现时间、转化率见表2。试验结果表明,随着稀释倍数增加,威百亩转化产生MITC的

速度和量均增加。从表 2 中还可以看出,随着稀释倍数的增加威百亩转化产生 MITC 的比率增加,如从稀释倍数为 50 倍时的 50.61% 增加到稀释倍数为 400 倍时的 90.23%;但稀释倍数为 1 000 倍时,转化率反而低,其原因可能在于高稀释倍数下,产生的 MITC 消解也快,所以检测的峰值低于稀释倍数为 400 倍时。

### 2.3 酸性或碱性条件下不同稀释倍数对威百亩转化产生 MITC 的影响

从表 3 中可以看出,在酸性条件下,稀释倍数

在 100 倍时,威百亩分解最快,转化率达到 58.72%,虽然其他几个稀释倍数间没有显著性差异,但稀释倍数在 400 倍和 1 000 倍时,峰值出现时间更早(加药后 5 min)。在碱性条件下,检测到的 MITC 峰值随着稀释倍数增加而增加,最大转化率是稀释 1 000 倍时的 65.92%。但总体看来,虽然酸性或碱性条件下威百亩的分解率低于在蒸馏水中,但峰值出现时间更早,稀释倍数对其分解依然有影响,尤其是碱性条件下也是稀释倍数越高,分解率越高。

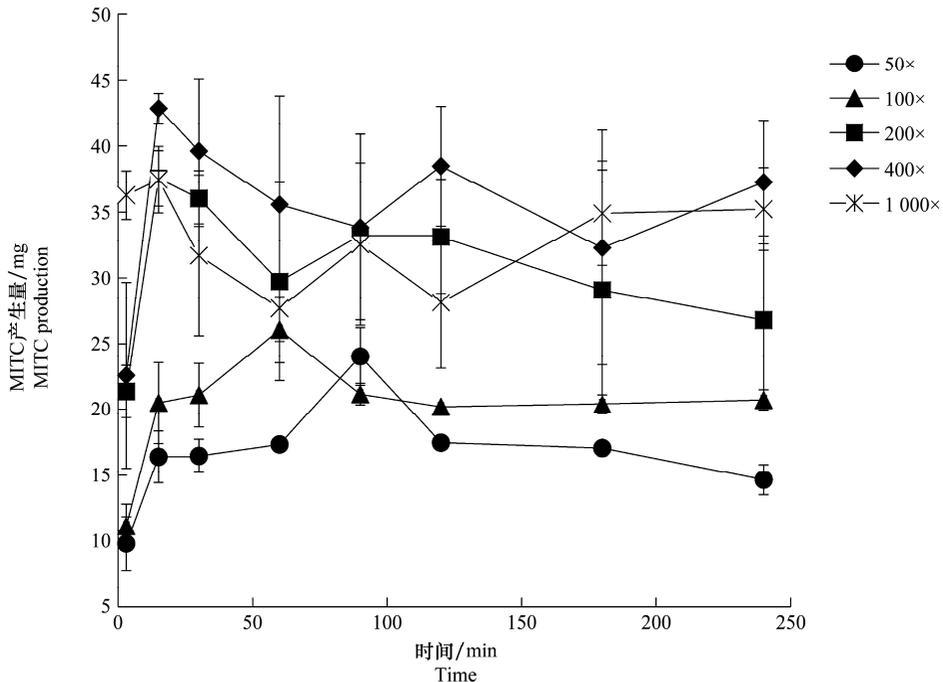


图 1 中性条件及不同稀释倍数下威百亩转化产生 MITC 的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of metam sodium-produced MITC under neutral conditions and different dilution ratios

表 2 中性条件(pH=7,蒸馏水)下不同稀释倍数威百亩转化产生 MITC 峰值、出现时间及转化率<sup>1)</sup>

Table 2 The peak value, occurrence time, and conversion rate of metam sodium-produced MITC under neutral conditions and different dilution ratios(pH=7, distilled water)

稀释倍数/倍 Dilution ratio	MITC 峰值出现时间/min Occurrence time of MITC peak value	MITC 峰值/mg MITC peak value	转化率/% Conversion rate
50	90	(24.04±3.11)c	50.61
100	60	(26.06±2.50)c	54.85
200	15	(37.55±2.09)b	79.04
400	15	(42.86±1.14)a	90.23
1 000	15	(37.45±2.51)b	78.84

1) 同列数据后标不同小写字母表示经邓肯氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Different lowercase letters in the same column indicate significant differences based on Duncan's new multiple range test ( $P < 0.05$ ). The same applies below.

表 3 酸碱条件下不同稀释倍数威百亩转化产生 MITC 峰值、出现时间及转化率

Table 3 The peak value, occurrence time, and conversion rate of metam sodium-produced MITC under acid and alkali conditions and different dilution ratios

稀释倍数/倍 Dilution ratio	pH=5 的缓冲溶液 Buffer solution, pH=5			pH=9 的缓冲溶液 Buffer solution, pH=9		
	MITC 峰值出现时间/min Occurrence time of MITC peak value	MITC 峰值/mg MITC peak value	转化率/% Conversion rate	MITC 峰值出现时间/min Occurrence time of MITC peak value	MITC 峰值/mg MITC peak value	转化率/% Conversion rate
50	15	(19.88±0.79)b	41.85	15	(14.48±0.66)c	30.48
100	15	(27.89±2.47)a	58.72	60	(10.43±1.19)d	21.95
200	30	(21.14±2.16)b	44.51	15	(18.85±2.44)c	39.69
400	5	(20.31±1.65)b	42.76	5	(26.89±2.62)b	56.61
1 000	5	(22.83±0.50)b	48.05	15	(31.31±2.21)a	65.92

### 2.4 中性条件下不同稀释倍数对威百亩转化产生的 MITC 消解的影响

一级降解动力学方程可以较好地拟合威百亩转化产生的 MITC 在不同稀释倍数下的消解 ( $R^2 = 0.78 \sim 0.92$ ), 消解参数见表 4。从表 4 中可以看出稀释倍数为 50、100、200、400、1 000 倍时, MITC 消解半衰期分别为 55.88、22.22、17.39、16.68 d 和 16.08 d。上述结果表明: 随着稀释倍数的增加, MITC 的水解加快, 尤其是 50 倍增加到 100 倍时, MITC 消解速率增加了 1.5 倍。

### 2.5 酸性或碱性条件下不同稀释倍数对威百亩转化产生的 MITC 消解的影响

从表 5 数据中可以看出, 酸性条件下, MITC 在稀释 100 倍时消解最快, 半衰期仅 3.99 d; 稀释倍数越高消解反而变慢。碱性条件下, 是稀释 1 000 倍的时候消解最快, 半衰期为 5.15 d。比较 3 个 pH

条件, 在稀释 50 倍的时候, pH=7 时 MITC 消解最慢, 随着稀释倍数增加差异规律性不显著。但无论是在中性、酸性还是碱性条件下, 威百亩均分解较快, MITC 消解也较快, 所以要减少 MITC 进入土壤前的损失, 就要控制威百亩分解速率。

表 4 中性条件 (pH=7) 及不同稀释倍数下威百亩转化产生的 MITC 在水体中的消解参数

Table 4 Degradation parameters of metam sodium-produced MITC under neutral conditions and different dilution ratios in water (pH=7)

稀释倍数/倍 Dilution ratio	$k \pm SE / (h^{-1})$	$t_{1/2} / d$	$R^2$
50	$8.6144E^{-6} \pm 1.72141E^{-6}$	55.88	0.90
100	$2.1660E^{-5} \pm 3.1366E^{-6}$	22.22	0.92
200	$2.7674E^{-5} \pm 4.2443E^{-6}$	17.39	0.90
400	$2.8856E^{-5} \pm 7.9733E^{-6}$	16.68	0.78
1 000	$2.9940E^{-5} \pm 7.7261E^{-6}$	16.08	0.82

表 5 酸碱条件下不同稀释倍数威百亩转化产生的 MITC 在水体中的消解参数

Table 5 Degradation parameters of metam sodium-produced MITC under acid and alkali conditions and different dilution ratios in water

稀释倍数/倍 Dilution ratio	pH=5 的缓冲溶液 Buffer solution, pH=5			pH=9 的缓冲溶液 Buffer solution, pH=9		
	$k \pm SE / (h^{-1})$	$t_{1/2} / d$	$R^2$	$k \pm SE / (h^{-1})$	$t_{1/2} / d$	$R^2$
50	$0.0030 \pm 0.0016$	9.38	0.73	$0.0021 \pm 0.0011$	14.09	0.65
100	$0.0072 \pm 0.0051$	3.99	0.92	$0.0010 \pm 0.0002$	29.44	0.82
200	$0.0021 \pm 0.0010$	13.50	0.69	$0.0034 \pm 0.0011$	8.60	0.72
400	$0.0015 \pm 0.0006$	19.25	0.65	$0.0018 \pm 0.0001$	16.23	0.99
1 000	$0.0019 \pm 0.0009$	15.04	0.67	$0.0056 \pm 0.0016$	5.15	0.86

## 3 讨论

威百亩在水中的转化途径包括水解和光解, 在紫外光下威百亩分解速度显著高于黑暗条件下, 通

过模型预测, 威百亩在盛夏正午阳光下光解半衰期在 1 h 之内<sup>[15]</sup>。根据产生的 MITC 量推算, 本试验中威百亩在稀释倍数 200 倍以上时, 稀释后 15 min 已经分解 50% 以上, 与 Draper 等<sup>[21]</sup> 的研究相符合。

Draper 等<sup>[21]</sup>发现,在避光条件下,水溶液中威百亩初始浓度为 530 mg/L 时的降解半衰期为 50 h,在初始浓度为 39 mg/L 时降解半衰期为 35 h,浓度越低降解越快。本试验中稀释倍数为 50、100、200、400、1 000 倍时对应的威百亩的初始浓度分别约为 8 400、4 200、2 100、1 050、420 mg/L,浓度设置高于 Draper 试验范围,但降解规律与其研究结果一致,即分解速率随着浓度降低而增加。威百亩降解是一个相对复杂的过程,降解反应存在不同的途径,水解产物间可相互转化<sup>[21]</sup>。Ruzo 等<sup>[17]</sup>发现在 pH 为 5、7 和 9 的缓冲液中,威百亩的降解半衰期分别为 24、180 h 和 46 h;在碱性条件下,威百亩水解为 MITC 和 S 元素;在酸性条件下,水解产生 MITC、CS<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和 CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub><sup>[14]</sup>。而本研究结果发现威百亩在水中的分解速率很快,其原因可能在于试验是在有光的条件下开展的,威百亩的水解和光解同时发生。Deguigne 等<sup>[22]</sup>发现,在 pH=5 时威百亩转化产物为 CS<sub>2</sub> (51%) 和 MITC (39%),这与本试验结果相似。MITC 是易挥发性化合物,饱和蒸气压为 2.7 kPa (20℃), Smelt 等<sup>[23]</sup>发现 20℃ 下其在水相和气相中的分配比为 170,这表明水溶液中威百亩分解产生的 MITC 量越大,其挥发逃逸量越多,进入土壤的有效成分量越少。

本试验结果表明,威百亩稀释后分解速率较快,产生的 MITC 可以继续消解,降解半衰期在 3~55 d,虽然消解速率慢,但消解的部分也会减弱威百亩防治土传有害生物的效果。Warton 等<sup>[24]</sup>和 Verhagen 等<sup>[25]</sup>的研究表明,MITC 在砂壤土中降解半衰期为 9 h,在碱性黏壤土中降解同样迅速; Smelt 等<sup>[26]</sup>发现 pH 为 7.3 时,MITC 的降解半衰期为 0.5 d; 赵文等<sup>[27]</sup>研究发现 MITC 在 20% 绝对含水量土壤中降解半衰期为 1.2 d,这表明 MITC 在土壤中降解很快,如果以 MITC 形式进入土壤,可能在未到达有害生物所在土壤层前就被降解,这将不利于威百亩对土传病原物防治。

理论上减小稀释倍数,可缩短滴灌时间,使得 MITC 挥发和降解损失减少。但 Nelson 等<sup>[15]</sup>发现以较小的滴灌速度 1.9 L/(h·m) 和 5.0 L/(h·m) (用时分别为 12 h 和 4.55 h) 滴灌较高水量 (45 L/m) 时,MITC 在土壤中分布优于 7.5 L/(h·m) (用

时 3.03 h) 的高滴灌速度或者 25 mm 的水量时。如果想减少威百亩转化的 MITC 损失又能保证其在土壤中的均匀分布,建议在滴灌或者浇灌施用威百亩时,先灌清水后再快速施入威百亩,这一步可以减少 MITC 在进入土壤前的损失;然后继续滴灌清水,这一步可以保证 MITC 在土壤中的均匀分布。

综上分析,威百亩稀释倍数低,转化产生 MITC 的速度快,溶解于水中的 MITC 可挥发逃逸,导致进入土壤中的有效成分低; MITC 在土壤中可以继续降解,降解的部分也会影响威百亩对土壤有害生物的防治效果; MITC 在土壤中降解速率较快,威百亩施用前转化率高,以 MITC 形式进入土壤,降解损失大。所以在滴灌或者浇灌应用威百亩时,稀释倍数不应该超过 50 倍。

#### 4 结论

通过室内水解试验发现,威百亩稀释后可以立刻发生分解反应产生 MITC,产生的 MITC 在水中会继续消解。在中性条件下,威百亩及其分解产生的 MITC 随着稀释倍数增加分解均加快;在酸性条件下,稀释 100 倍时威百亩分解最快;在碱性条件下,威百亩的分解随着稀释倍数增加而增加,但 MITC 消解是在稀释 100 倍的时候最慢,1 000 倍的时候最快。

明确不同酸碱度条件下,稀释倍数对威百亩转化为 MITC 及对 MITC 消解的影响对滴灌施用威百亩时田间用水量、滴灌速度及威百亩用量均具有指导意义。威百亩在田间滴灌施药通常在 1 d 内完成,影响其效果的主要因素是 MITC 挥发逃逸和进入土壤尚未到达有害生物所在位置发生的降解,因此研究稀释倍数对威百亩降解的影响对田间实际生产具有指导意义。建议在滴灌施用威百亩时,威百亩稀释倍数不超过 50 倍为宜,稀释液避光储存;具体操作时先滴灌清水,再滴药液,然后再滴灌清水,既能减少 MITC 损失又能保证其在土壤中均匀分布。

#### 参考文献

- [1] LEMBRIGHT H W. Soil fumigation: principles and application technology [J]. Journal of Nematology, 1990, 22(4S):

632 - 644.

- [2] NOLING J W, BECKER J O. The challenge of research and extension to define and implement alternatives to methyl bromide [J]. *Journal of Nematology*, 1994, 26(4S): 573 - 586.
- [3] ROSSKOPF E N, CHELLEMI D O, KOKALIS-BURELLE N, et al. Alternatives to methyl bromide: A Florida perspective [J/OL]. *Plant Health Progress*, 2005, 6(1): 1 - 25. DOI: 10.1094/PHP-2005-1027-0.
- [4] 王秋霞, 颜冬冬, 王献礼, 等. 土壤熏蒸剂研究进展[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(4): 529 - 543.
- [5] GERSTL Z, MINGELGRIN U, YARON B. Behavior of Vapam and methylisothiocyanate in soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1977, 41(3): 545 - 548.
- [6] TAYLOR R J, PASCHE J S, GUDMESTAD N C. Influence of tillage and method of metam sodium application on distribution and survival of *Verticillium dahliae* in the soil and the development of *Verticillium* wilt of potato [J]. *American Journal of Potato Research*, 2005, 82(6): 451 - 461.
- [7] BEN-YEPHET Y, BITTON S, GREENBERGER A. Control of lettuce drop disease, caused by *Sclerotinia sclerotiorum*, with metham-sodium soil treatment and foliar application of benomyl [J]. *Plant Pathology*, 1986, 35(2): 146 - 151.
- [8] 赵一杰, 谢学文, 傅俊范, 等. 威百亩防治黄瓜苗期猝倒病效果研究[C]//中国园艺学会 2012 年学术年会论文摘要集, 2012: 137.
- [9] 何明明, 费林瑶. 威百亩对设施作物根结线虫病及其他土传病害的防效研究[J]. *湖南农业科学*, 2013(17): 84 - 86.
- [10] 王星懿, 孙振天, 王雪, 等. 35%威百亩水剂对人参田杂草的防除效果及安全性[J]. *农药*, 2019, 58(4): 307 - 310.
- [11] BROWNE G T, DETAR W R, SANDEN B L, et al. Comparison of drip and sprinkler irrigation systems for applying metam sodium and managing stem rot on potato [J]. *Plant Disease*, 2002, 86(11): 1211 - 1218.
- [12] HAAR M J, FENNIMORE S A, AJWA H A, et al. Chloropicrin effect on weed seed viability [J]. *Crop Protection*, 2003, 22(1): 109 - 115.
- [13] PAPIERNIK S K, YATES S R, DUNGAN R S, et al. Effect of surface tarp on emissions and distribution of drip-applied fumigants [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(16): 4254 - 4262.
- [14] CROUCHER L, JEWESS P. Metabolic pathways of agrochemicals; part 2: insecticides and fungicides [M]. North Carolina: Royal Society of Chemistry, 2007.
- [15] NELSON S D, AJWA H A, TROUT T, et al. Water and methyl isothiocyanate distribution in soil after drip fumigation [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2013, 42(5): 1555 - 1564.
- [16] NOLING J W. Determining metham sodium lethal dosage for nematodes in grower field microplots [C]//Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions: [proceedings], 2008.
- [17] RUZO L O. Physical, chemical and environmental properties of selected chemical alternatives for the pre-plant use of methyl bromide as soil fumigant [J]. *Pest Management Science*, 2006, 62(2): 99 - 113.
- [18] 张心昱, 孙晓敏, 袁国富, 等. 中国生态系统研究网络水体 pH 和矿化度监测数据初步分析[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(9): 1042 - 1050.
- [19] 刘旭艳, 张心昱, 袁国富, 等. 近 10 年中国典型农田生态系统水体 pH 和矿化度变化特征[J]. *环境化学*, 2019, 38(6): 1214 - 1222.
- [20] DI PRIMO P, GAMLIEL A, AUSTERWEIL M, et al. Accelerated degradation of metam-sodium and dazomet in soil: characterization and consequences for pathogen control [J]. *Crop Protection*, 2003, 22(4): 635 - 646.
- [21] DRAPER W M, WAKEHAM D E. Rate constants for metam-sodium cleavage and photodecomposition in water [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1993, 41(7): 1129 - 1133.
- [22] DEGUIGNE M B, LAGARCE L, BOELS D, et al. Metam sodium intoxication: the specific role of degradation products-methyl isothiocyanate and carbon disulphide-as a function of exposure [J]. *Clinical Toxicology*, 2011, 49(5): 416 - 422.
- [23] SMELT J H, LEISTRA M. Conversion of metham-sodium to methyl isothiocyanate and basic data on the behaviour of methyl isothiocyanate in soil [J]. *Pesticide Science*, 1974, 5(4): 401 - 407.
- [24] WARTON B, MATTHIESSEN J N, ROPER M M. The soil organisms responsible for the enhanced biodegradation of metham sodium [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2001, 34(4): 264 - 269.
- [25] VERHAGEN C, LEBBINK G, BLOEM J. Enhanced biodegradation of the nematicides 1,3-dichloropropene and methyl-isothiocyanate in a variety of soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, 28(12): 1753 - 1756.
- [26] SMELT J H, CRUM S J H, TEUNISSEN W. Accelerated transformation of the fumigant methyl isothiocyanate in soil after repeated application of metham-sodium [J]. *Journal of Environmental Science & Health Part B*, 1989, 24(5): 437 - 455.
- [27] 赵文, 赵一杰, 王惟萍, 等. 实验室条件下威百亩及异硫氰酸甲酯在土壤中的降解特性[J]. *农药学报*, 2013(5): 567 - 573.