

# 苗期水分管理对水稻分蘖及除草剂控草效应的影响

史骏\*, 陈若霞, 谌江华, 汪峰, 任少鹏, 柴伟纲

(宁波市农业科学研究院, 宁波 315040)

**摘要** 稻田除草剂大量及高频使用对农作物安全、土壤及水体环境构成了严重威胁,使得除草剂减量使用刻不容缓。水稻机插田药后长时间保水可显著抑制杂草,以此可减少除草剂用量,但长时间保水会导致水稻发育受限。盆栽试验表明,无论是否喷施除草剂 30% 苄嘧·丙草胺乳油,杂草发生随保水时长增加而减少,且喷施除草剂对杂草防除具显著效果。田间试验表明,稻田施用 30% 苄嘧·丙草胺乳油 100 mL/667m<sup>2</sup> 后,药后保水 7 d 时的水稻分蘖及抑草的综合效应达到最佳。

**关键词** 杂草防除; 水稻; 除草剂; 田水管理; 水稻分蘖; 杂草发生量

**中图分类号:** S451.21 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021124

## Effects of water management at seedling stage on rice tiller and weed control of herbicides

SHI Jun\*, CHEN Ruoxia, CHEN Jianghua, WANG Feng, REN Shaopeng, CHAI Weigang

(Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, China)

**Abstract** The large amount and high-frequency use of herbicides in paddy fields pose a severe threat to crop safety, soil, and water environment, making it urgent to reduce the use of herbicides. Long-term water conservation can significantly inhibit weeds and bring down the quantity of herbicides, but will stunt the growth of rice. Pot experiment showed that the weed occurrence decreased with the increase of water retention time regardless of spraying herbicide bensulfuron-methyl · pretilachlor 30% EC. Spraying herbicide had significant effect on weed control. Field experiment showed that when bensulfuron-methyl · pretilachlor 30% EC was applied in paddy field at 100 mL/667m<sup>2</sup> with holding the water retention for seven days, the comprehensive effect of rice tillering and weed suppression reached the highest.

**Key words** weed control; rice; herbicide; field water management; tiller quantity; weed occurrence

稻田草害是导致水稻减产的一个重要原因。稻田杂草同水稻争肥水、光照及空间,影响水稻的生长发育<sup>[1-2]</sup>,而且杂草还是水稻病害、虫害的中间寄主和传播媒介<sup>[3]</sup>。化学除草剂的出现为稻田杂草的防除带来了革命性的改变,但除草剂的长期、大量、频繁使用,也对农作物的安全性、土壤、水体环境构成威胁<sup>[4-6]</sup>并使杂草产生了抗药性<sup>[7-8]</sup>。因此,不少学者开始对如何高效使用稻田除草剂,以减少除草剂的使用量和使用频次进行研究,并就此提出各种策略。

有研究表明,于插秧同时喷施 30% 苄嘧·丙草胺乳油,可有效防除稻田杂草,且产量与常规用药基本持平<sup>[9]</sup>。此外,有学者在不施用除草剂的情况下,通过深水漫灌的方法,抑制稻田草害,并将“深水抑草”与“醇土培肥”和“水淹灌控病虫”相结合,不仅有

效防控了草害,也控制了病害和虫害,减少了除草剂的使用量。该研究还表明,稻田水层深度在 6 cm 以上,即可明显控制草害的发生;水层深度若 10 cm 以上,保持 8~12 d,可根除苗期杂草<sup>[10]</sup>。虽然“深水抑草”技术取得了良好的控草效果,但另有研究指出,水稻在受到短期的、较深的水淹胁迫时,因其需要储存碳水化合物以备其生存所需,由此导致水稻无法快速地伸长与生长,从而影响发育<sup>[11]</sup>。另外,水稻苗期长期采用深水控草,会影响土壤的通气性及氮含量<sup>[12]</sup>,进而影响水稻的分蘖与生长。因此,单纯进行长时间保水抑草,也会影响水稻最终的生长发育。不少机插田以“一封一杀”作为杂草防除的常规模式,即于插秧后 3~7 d 采用土壤封闭除草剂进行杂草防除 1 次,并于插秧后 15~30 d 喷施茎叶

收稿日期: 2021-03-02 修订日期: 2021-04-11

基金项目: 宁波市“科技创新 2025”重大专项(2019B10003); 宁波市公益类科技计划(2019C10082)

\* 通信作者 E-mail: shijunfred@163.com

除草剂 1 次,而科学、合理地确定药后保水时长对杂草的抑制作用,利用保水抑草,或可省去水稻机插田后期的“一杀”用药,从而减少使用除草剂的次数与使用量。然而,对于药后保水时长在杂草防除方面的研究,目前尚未见报道。

对宁波稻区机插田的跟踪调查表明,插秧后 3 d 施药且适当延长保水时长,有助于稻田草害的防治。然而,药后保水时长与水稻返青程度、分蘖速率、后期生长、杂草抑制程度间确切关系并没有数据支持。因此,本研究于温室内,以稗草 *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.、千金子 *Leptochloa chinensis* (L.) Nees、多花水苋 *Ammannia multiflora* Roxb.、耳叶水苋 *A. auriculata* H. B. K. 和异型莎草 *Cyperus difformis* L. 等 5 种具有潜在危害的稻田杂草为研究对象,研究施药后保水时长与杂草发生之间的关系;此外,以籼粳杂交稻‘甬优 1540’为试验材料,于宁波市奉化区麦浪农场大田设置不同的药后保水时长,测定药后不同保水时长对水稻分蘖与杂草抑制的作用,以期确定既不影响水稻发育、又可较好地控制稻田杂草的药后保水时长。本研究通过上述试验,来揭示‘甬优 1540’机插田除草剂施药后保水时长与稻田草害防治以及水稻素质的关系,为籼粳杂交稻‘甬优 1540’稻田杂草防除提供理论基础和实践经验。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试药剂为 30% 苄嘧·丙草胺乳油(bensulfuron-methyl·pretilachlor 30% EC,江苏丰山集团股份有限公司)。

供试杂草为稗草、千金子、多花水苋、耳叶水苋和异型莎草。种子采集自宁波市奉化区江口街道麦浪农场(121°27'E,29°42'N)和象山县西周镇伟平农场(121°38'E,29°29'N)。

大田试验供试水稻品种为‘甬优 1540’(宁波种业股份有限公司)。

### 1.2 试验方法

温室盆栽试验:每种杂草发生量试验为二因素交互试验,包含有无除草剂处理和 6 种水分管理处理。除草剂施药方式为杂草种子撒播后 3 d,分别喷施 1 次封闭除草剂和喷施 1 次清水对照(即不施除草剂);6 种水分管理处理分别为喷施除草剂后保水 0、3、7、11、24 d 和模拟常规保水。每处理在 1 个边长 50 cm 高 5 cm 的托盘中进行,各处理重复 3 次。每托盘含基质约 4.5 kg,基质的有机质含量 $\geq 46\%$ ,总养

分 $\geq 2\%$ ,托盘填满基质后,注水淋透基质,于基质表面均匀撒播各类杂草种子 100 粒。施药后 24 d 对所有处理的杂草量进行调查和记录。施药方式采用 30% 苄嘧·丙草胺乳油,按制剂用药量 100 mL/667m<sup>2</sup> 的剂量兑水 30 kg/667m<sup>2</sup> 后,对托盘中的杂草进行喷雾施药。施药时土表无水层,5 种杂草中仅部分稗草种子露芽。温室温度及光照设置:06:01—18:00 为 32℃,光照为 5 000 lx;18:01—06:00 为 22℃,光照为室内自然光,无其他补光,约为 0~600 lx。

大田试验:于 2019 年 6 月在浙江省宁波市奉化区江口街道麦浪农场进行大田试验。水稻用种量为 1 kg/667m<sup>2</sup>,插秧规格为 30 cm×20 cm。播种时间为 5 月 20 日,移栽时间为 6 月 15 日,秧龄为 26 d,约 5~6 叶期。移栽田为稻麦轮作田,前茬为小麦。麦浪农场的土壤理化性质:pH 为 5.52,全氮为 5.06 g/kg,58.24 g/kg,碱解氮 417.9 mg/kg,氨氮为 10.30 mg/kg,硝态氮为 0.77 mg/kg。

试验共设 5 个处理,每处理 3 个重复,每重复设 1 个小区,小区面积 100 m<sup>2</sup>。处理 1 至处理 4 在插秧后 3 d,采用“合美”HM-16A 型背负式电动喷雾器(中山市合美电器有限公司),工作压力为 0.2~0.4 MPa,以 30% 苄嘧·丙草胺乳油为除草剂,按制剂用药量 100 mL/667m<sup>2</sup> 的剂量,兑水 30 kg/667m<sup>2</sup>,喷施 1 次,施药当天为阴天、无风天气;处理 5 为插秧后不施除草剂。其中,处理 1~处理 3 为药后分别保水 3、7、11 d,保水深度平均 3 cm,保水期间维持水深 3 cm,复水后常规控水;处理 4 和处理 5 全程常规控水。常规控水为灌水至水层深度为 3 cm,待水层自然回落至 25% 田面暴露为标准,再复水,反复操作,至分蘖结束为止。于移栽前 3 d 施基肥,肥料为复合肥(N-P-K 为 15-15-15),用量为 33 kg/667m<sup>2</sup>;于移栽后 6 d 施返青肥,肥料为尿素,用量为 5 kg/667m<sup>2</sup>;于移栽后 20 d 施分蘖肥,肥料为尿素,用量为 10 kg/667m<sup>2</sup>;于移栽后 37 d 施穗肥,肥料品种为复合肥(N-P-K 为 15-15-15),用量为 26 kg/667m<sup>2</sup>。

水稻分蘖测定:每小区 3 点,每点取水稻 10 株,自插秧后 11 d 起,每周调查 1 次,连续 5 次。杂草发生量及除草剂防效测定:每小区 5 个点,每点放置 1 个 0.5 m×0.5 m 样框,自插秧后 18 d 起,每周对样框中的杂草种类和数量进行记录,连续 4 次,并对末次调查的杂草地上部分进行鲜重称量,并计算株防效和鲜重防效。株防效=(空白对照区杂草株数-处理区杂草株数)/空白对照区杂草株数×100%,鲜重防效=(空白对照区杂草鲜重-处理区杂草鲜

重)/空白对照区杂草鲜重 $\times 100\%$ 。

### 1.3 数据分析

温室试验中, 设杂草发生量为因变量, 保水时长处理和有无施用除草剂处理为固定因子, 采用一般线性模型, 对每个调查周期的数据进行分析, 利用 post-hoc (Tukey) 进行两两比较分析。大田试验中, 设保水时长处理为固定因子, 水稻分蘖、杂草发生量和杂草鲜重为因变量。大田试验的水稻分蘖、杂草发生量和杂草鲜重, 以及温室试验的杂草发生量均采用 SPSS statistics v22.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 温室试验

表 1 所示, 保水时长对杂草发生量及控草效果具有显著影响; 其次, 杂草萌发初期施用 1 次封闭除草剂对杂草具有较好的防控效果。

施用 1 次封闭除草剂, 药后保水 0 d 和 3 d 两个处理的稗草、千金子、多花水苋、耳叶水苋的发生量显著高于药后保水 7、11 d 和 24 d 的发生量; 异型莎草的发生情况与其他 4 种杂草略有不同, 但在药后 3 d 起, 随保水时长增加, 其发生量有所下降。

在不施用除草剂的情况下, 喷施清水对照后保水 0 d 和 3 d, 稗草和千金子发生量显著高于喷施清水后保水 7 d 处理的发生量。此外, 喷施清水后保水 7 d, 稗草和千金子发生量显著高于保水 11 d 的发生量, 而保水 11 d 的发生量显著高于 24 d 的发生量。在不施用除草剂的情况下, 稗草和千金子发生量方面, 随保水时间增加, 杂草发生量下降的幅度低于施用过除草剂的同类杂草。此外, 阔叶类的多花水苋、耳叶水苋及莎草科的异型莎草的发生量均随保水时长增加而显著减少, 但下降幅度同样低于施用过 1 次封闭除草剂的同类杂草。

### 2.2 大田试验

#### 2.2.1 不同保水时长对水稻分蘖动态的影响

如表 2 所示, 插秧后 11 d 调查结果显示, 各处理间的水稻分蘖数略有差异, 无药+常规控水的分蘖最多, 达 7.99 万株/667m<sup>2</sup>, 药后保水 11 d 的分蘖数最少, 为 5.88 万株/667m<sup>2</sup>, 但各处理间差异不显著。至插后 18 d, 药后保水 7 d 的分蘖最多, 达 15.54 万株/667m<sup>2</sup>, 药后保水 11 d 的分蘖则最少, 为 12.43 万株/667m<sup>2</sup>, 但各处理间差异不显著。至插后 24 d, 各处理均达到分蘖数最大值, 药后保水 7 d 的处理分蘖最多, 达 20.98 万株/667m<sup>2</sup>, 其次为药后保水 3 d 处理分蘖数为 20.20 万株/667m<sup>2</sup>, 略高于施药情况下的常规控

水处理的 17.76 万株/667m<sup>2</sup>, 显著高于药后保水 11 d 和不施药情况下的常规控水处理的 15.76 万株/667m<sup>2</sup> 和 15.21 万株/667m<sup>2</sup>。至插后 30 d, 药后保水 7 d 处理的分蘖数略有下降, 为 20.58 万株/667m<sup>2</sup>, 而药后保水 3 d 处理的分蘖下降明显, 为 16.16 万株/667m<sup>2</sup>, 显著低于药后保水 7 d 处理的分蘖水平, 略高于其他处理, 但差异不显著。至插后 36 d, 各处理的分蘖数量均有所下降。分蘖最多的为药后保水 7 d 的处理, 达 18.26 万株/667m<sup>2</sup>, 显著高于其他 4 个处理, 但其他处理间差异不显著。

#### 2.2.2 不同保水时长对杂草出草量和除草剂防效的影响

如表 3 所示, 插后 18 d 至 30 d, 不施除草剂情况下的常规控水处理的杂草发生量显著高于其他 4 个处理, 表明除草剂是防治稻田杂草的重要措施。在药后保水 3、7、11 d 及药后常规控水的 4 个处理中, 药后保水 3 d 的杂草数量相对多于其他处理, 但差异不显著; 药后保水 7 d 及 11 d 处理的杂草数量在插后 18 d 和 24 d 中处于最低。至插后 36 d, 无药常规控水处理的杂草发生量则依然显著高于其他 4 个处理; 但在药后保水 3、7、11 d 及药后常规控水 4 个处理中, 药后保水 7 d 处理的杂草发生量开始显著低于除药后保水 11 d 的其他 3 个处理, 表明至插秧后 36 d, 保水 7 d 处理的抑草效果在各处理中表现最好。末次调查(插后 36 d) 杂草鲜重数据与杂草发生量的趋势基本一致, 药后保水 7 d 处理的杂草鲜重最低, 显著低于除药后保水 11 d 的其他处理, 同样表明保水时长为 7 d 的处理其抑草效果最佳。

杂草株防效和末次鲜重防效数据表明, 药后保水 7 d 处理的株防效在各处理中较高, 从插秧后 18 d 至 36 d, 始终保持在 80% 以上, 末次鲜重防效显著高于其他 3 个处理, 表明药后保水 7 d 具有最好的控草效果。

温室盆栽试验和大田试验表明, 在增加保水时长的情况下, 不论是否施用除草剂, 均可大大降低杂草发生量, 尤其是禾本科的稗草和千金子, 阔叶类的多花水苋及耳叶水苋; 其次, 施用 1 次封闭除草剂, 可大大降低杂草的发生量; 再次, 除草剂作用的发挥, 在药后保水 7 d 及以上可大大增加除草剂对苗期杂草的封闭作用。

## 3 结论与讨论

水稻机插田中苗期药后保水时长是直接影响水稻返青、分蘖的重要因素。因此, 研究药后保水时长与水稻分蘖、杂草发生之间的内在关系, 是保证水稻

表 1 喷施 30% 苄嘧·丙草胺乳油后不同保水时长条件对 5 种稻田杂草发生量的影响 (盆栽)<sup>1)</sup>  
**Table 1 Effects of different water retention time after spraying bensulfuron-methyl · prothiochlor 30% EC on the occurrence of five kinds of paddy weeds (potted)**

除草剂处理 Herbicide treatment	处理 Treatment	杂草发生量/株·盆 <sup>-1</sup> Weed occurrence					
		稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	多花水苋 <i>Ammannia multiflora</i>	耳叶水苋 <i>Ammannia auriculata</i>	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	
施除草剂 Herbicide application	保水处理 Water retention treatment	药后保水 0 d	(69.33±7.64)a	(62.33±14.01)a	(32.33±5.51)a	(34.00±9.85)a	(19.67±3.79)b
		药后保水 3 d	(59.00±8.66)a	(52.67±11.02)a	(29.00±7.81)a	(36.33±10.12)a	(30.67±6.66)ab
		药后保水 7 d	(7.33±2.08)b	(11.00±2.65)b	(1.00±1.00)b	(2.00±2.00)b	(10.67±2.08)bc
		药后保水 11 d	(2.67±1.15)b	(3.00±1.00)b	(1.00±1.73)b	(2.00±3.46)b	(2.00±2.00)c
		药后保水 24 d	(0.00±0.00)b	(0.00±0.00)b	(0.00±0.00)b	(0.00±0.00)b	(0.00±0.00)c
		药后常规控水	(61.33±9.50)a	(54.33±12.50)a	(25.33±13.01)a	(44.33±9.24)a	(41.67±13.50)a
无除草剂 Without herbicide application	保水处理 Water retention treatment	保水 0 d	(85.33±8.08)a	(89.67±12.66)a	(55.67±6.51)ab	(54.33±11.37)b	(36.67±8.02)b
		保水 3 d	(81.33±10.41)a	(86.33±9.50)a	(46.67±5.03)b	(57.33±10.07)b	(44.33±10.69)b
		保水 7 d	(65.67±8.74)b	(54.00±7.00)b	(35.33±6.51)b	(21.00±2.65)c	(34.67±11.24)b
		保水 11 d	(34.33±12.22)c	(35.67±9.07)c	(35.33±6.51)b	(25.00±4.00)c	(18.00±2.65)c
		保水 24 d	(11.33±4.04)d	(7.00±1.00)d	(22.33±4.62)c	(17.67±6.66)c	(0.00±0.00)d
		常规控水	(87.00±8.19)a	(78.67±11.24)a	(64.33±9.71)a	(76.00±13.53)a	(62.00±7.21)a

1) 数据为平均值±标准误差, 同列数据后的小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ). The same applies below.

表 2 水稻田喷施 30% 苄嘧·丙草胺乳油及喷药后不同保水时长对水稻分蘖数的影响<sup>1)</sup>  
**Table 2 Effect of different water retention time on tiller quantity of rice after spraying bensulfuron-methyl · prothiochlor 30% EC**

除草剂处理 Herbicide treatment	处理 Treatment	水稻分蘖数/万株·(667m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> Tiller number of rice					
		插后 11 d ATR 11 days	插后 18 d ATR 18 days	插后 24 d ATR 24 days	插后 30 d ATR 30 days	插后 36 d ATR 36 days	
药后保水 3 d 药后保水 7 d 药后保水 11 d 药后常规控水 无药+常规控水	保水处理 Water retention treatment	药后保水 3 d	(7.33±0.80)a	(13.76±2.07)a	(20.20±1.98)a	(16.16±1.34)b	(14.72±1.26)b
		药后保水 7 d	(6.99±0.81)a	(15.54±2.22)a	(20.98±2.41)a	(20.58±2.46)a	(18.26±1.35)a
		药后保水 11 d	(5.88±0.52)a	(12.43±0.84)a	(15.76±1.06)b	(13.76±0.95)b	(13.54±1.17)b
		药后常规控水	(7.56±1.09)a	(13.95±1.70)a	(17.76±1.76)ab	(16.01±1.10)b	(14.52±1.62)b
		无药+常规控水	(7.99±1.18)a	(14.54±1.47)a	(15.21±1.95)b	(14.58±1.50)b	(13.31±1.16)b
		常规控水	(7.33±0.80)a	(13.76±2.07)a	(20.20±1.98)a	(16.16±1.34)b	(14.72±1.26)b

1) ATR 为“插后”的英文缩写, 下同。

ATR is the abbreviation of “after transplanting seedling”, the same applies below.

表 3 水稻田喷施 30% 吡嘧·丙草胺乳油后不同保水时长对杂草出草数量及末次调查杂草鲜重的影响<sup>1)</sup>  
 Table 3 Effects of different water retention time on the number of weeds and the fresh weight of weeds in the last investigation after spraying bensulfuron-methyl · pretilachlor 30% EC on rice

处理 Treatment	杂草数量/株·m <sup>-2</sup> Weed number						末次鲜重/g·m <sup>-2</sup> * Final fresh weight
	插后 18 d ATR 18 days	插后 24 d ATR 24 days	插后 30 d ATR 30 days	插后 36 d ATR 36 days	插后 36 d ATR 36 days	插后 36 d ATR 36 days	
药后保水 3 d	Water retention for 3 d after herbicide application	(13.33±2.18)b	(26.67±2.88)b	(74.67±13.24)b	(172.00±40.13)b	(561.55±41.99)b	
药后保水 7 d	Water retention for 7 d after herbicide application	(6.67±1.09)b	(13.33±2.88)b	(48.00±8.64)b	(73.33±9.30)c	(232.83±19.77)c	
药后保水 11 d	Water retention for 11 d after herbicide application	(1.33±1.09)b	(6.67±1.09)b	(54.67±11.52)b	(133.33±24.90)bc	(366.60±29.50)bc	
药后常规控水	Conventional water control after herbicide application	(6.67±1.09)b	(18.67±3.93)b	(56.00±8.64)b	(186.67±25.74)b	(510.65±28.31)b	
无药常规控水	Conventional water control with herbicide-free	(136.00±41.48)a	(258.67±43.59)a	(357.33±48.16)a	(446.67±45.27)a	(1 851.71±110.44)a	

1) \* 末次鲜重为插后 36 d 调查时的杂草鲜重。

\* Final fresh weight is the fresh weight of weeds in the last investigation (36 days after transplanting).

表 4 水稻田喷施 30% 吡嘧·丙草胺乳油后不同保水时长对杂草株防效及鲜重防效<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of different water retention time on weed plant and fresh weight after spraying bensulfuron-methyl · pretilachlor 30% EC on rice

处理 Treatment	株防效/% Control effect of weed plant						末次鲜重防效/%* Control effect of fresh weight in the last investigation
	插后 18 d ATR 18 days	插后 24 d ATR 24 days	插后 30 d ATR 30 days	插后 36 d ATR 36 days	插后 36 d ATR 36 days	插后 36 d ATR 36 days	
药后保水 3 d	Water retention for 3 d after herbicide application	(88.14±2.25)a	(88.16±3.07)a	(78.86±3.13)a	(63.02±5.07)b	(69.55±1.99)c	
药后保水 7 d	Water retention for 7 d after herbicide application	(92.27±3.65)a	(93.76±2.28)a	(86.32±2.17)a	(83.19±2.33)a	(87.35±1.07)a	
药后保水 11 d	Water retention for 11 d after herbicide application	(99.40±0.49)a	(97.40±0.26)a	(84.95±2.43)a	(67.49±8.76)b	(79.94±2.02)b	
药后常规控水	Conventional water control after herbicide application	(94.07±1.12)a	(92.01±1.94)a	(83.95±2.23)a	(56.03±9.57)b	(72.17±2.06)c	

1) \* 为末次(插后 36 d)调查时的杂草鲜重防效。

\* is control effect of fresh weight preventive in the last investigation (36 days after transplanting seedling).

良好发育和防治稻田杂草的关键所在。本研究发现,随药后保水时长的增加,水稻分蘖速率有所降低,杂草发生量有所减少。其中,药后保水 7 d,对水稻苗期生长及杂草抑制均有利。

### 3.1 药后不同保水时长对水稻分蘖与杂草生长的影响

较长时间的水淹状态会对土壤含水量及土壤透气性产生较大影响<sup>[11]</sup>。在长期水淹状态下,水稻根系的呼吸作用将减弱,对苗期水稻的生长产生负面影响<sup>[10,13-14]</sup>。其次,土壤较长时间处于水淹状态下,厌氧条件会促进反硝化作用的发生,从而降低土壤中氮素营养的含量,不利于水稻及杂草对氮肥的利用。本研究结果表明,药后保水 3 d 的处理,其土壤虽然具有很好的透气性和较低的含水量,但该处理下水稻的分蘖数在插秧后 30 d 及 36 d,显著低于药后保水 7 d 的处理,说明仅缩短药后保水时长,增加土壤透气性和硝化作用等,并不能促使水稻分蘖速率和分蘖数达到最优状态。杂草发生量表明,药后保水时长的缩短,在促进水稻分蘖的同时,也会增加杂草的发生。由于稻田杂草种子基数庞大<sup>[15]</sup>,且苗期杂草生长更快、对空间竞争能力更强、对养分需求极大,将对水稻的生长与分蘖带来较大的负面影响<sup>[16-18]</sup>。另一方面,药后保水 11 d 的处理,在插秧后 36 d,水稻分蘖数明显低于其他处理,表明药后长时间淹水环境对水稻的发育极为不利;相应地,在插秧后 36 d,药后保水 11 d 的情况下,杂草发生量显著高于药后保水 7 d 的杂草发生量,说明在该处理下,在水稻与杂草的竞争中,水稻处于相对劣势,且并不能像药后保水 7 d 的处理那样,以较多分蘖的壮苗对杂草幼苗形成遮挡,减弱杂草的光合作用,减少杂草对其的竞争威胁。因此,本研究表明药后保水时长直接影响水稻分蘖和杂草发生,并进一步影响水稻秧苗与杂草幼苗间的竞争关系及强度。我们认为,筛选合理的药后保水时长,是一个基于水稻生长分蘖速率、杂草生长量,以及水稻生长与杂草发生之间的竞争强度的权衡与平衡。

### 3.2 除草剂药效与药后保水时长之间的互相作用

施用除草剂的情况下,杂草发生量显著低于不施用除草剂的情况,表明除草剂在稻田杂草防除中具有不可替代的作用<sup>[19-21]</sup>。虽然依靠单纯的保水也能在一定程度上抑制杂草生长<sup>[10]</sup>,如无除草剂情况下的异型莎草,但与单独施用除草剂的处理相比,药后保水 7 d 的处理可以大大增加除草剂的防效,该现象在稗草、千金子、多花水苋和耳叶水苋中非常明

显。在机插田中,由于不少杂草吸收除草剂的部位位于叶心,而水稻叶心往往高于杂草叶心,在施用除草剂后,保留水层淹没杂草叶心,同时使水稻叶心露出水面,便可起到封杀杂草的作用<sup>[9]</sup>;其次,虽然水稻与较多种类杂草具有较近的亲缘关系,尤其是禾本科杂草,如稗草、千金子,但水稻可利用自身的代谢将除草剂分解,有研究表明,在有水环境中,水稻对吸入植物体内的除草剂的分解能力更强<sup>[22]</sup>。因此,合理的药后保水有利于稻田杂草的防治。

然而,保水时长对于除草剂药效的影响并不清楚。本研究表明,对于 30% 吡嘧·丙草胺乳油而言,药后保水 7 d 对于杂草防除效果极佳,但也因不同杂草种类而有所差异,如在本研究中禾本科的稗草和千金子以及阔叶类的多花水苋和耳叶水苋,药后保水 3 d 与药后保水 7 d,具有较大的药效差异。一方面,单纯的保水时长的增加,可能有利于对杂草幼株的抑制,本研究发现,在无除草剂的情况下,随着保水时长的增加,杂草发生量下降,但下降的幅度不如施用过除草剂的明显;另一方面,除草剂药效的发挥,也得益于药后保水时间的延长。除草剂本身的药效和水层对杂草的抑制,具有互为增益的关系。

本研究表明,药后保水 7 d,可使机插田水稻‘甬优 1540’具有相对较多的分蘖,相对较少的杂草,较高的除草剂防效。这种药后保水 7 d 的防治模式,有利于水稻的优质和高产。然而,本研究也存在一些不足。首先,没有对最终产量进行跟踪测产;其次,温室试验中,并没有引入水稻‘甬优 1540’的幼苗试验,使其与杂草组成竞争模式进行观测;最后,大田试验中,表征水稻生长的指标不够齐全,仅采用了分蘖数。上述不足之处是今后研究苗期水稻水分管理对除草剂控草效果影响时需要注意和补充的。

### 参考文献

- [1] HOSSAIN K, TIMSINA J, JOHNSON D E, et al. Multi-year weed community dynamics and rice yields as influenced by tillage, crop establishment, and weed control: implications for rice-maize rotations in the eastern gangetic plains [J/OL]. Crop Protection, 2020, 138: 105334. DOI:10.1016/j.cropro.2020.105334.
- [2] 王小武,李双建,丁新华,等. 不同除草方式对稻田杂草群落及其多样性的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(11): 1667-1675.
- [3] FU Z, MEIER A R, EPSTEIN B, et al. Host plants and *Wolbachia* shape the population genetics of sympatric herbivore populations [J]. Evolutionary Applications, 2020, 13(10): 2740-2753.

175-180.

- [8] EKE A C, OKEREKE O U. Goosegrass (*Eleusine indica*) and wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*) interference in maize (*Zea mays*) [J]. Nigerian Journal of Weed Science, 1990, 3: 1-10.
- [9] ZAGONEL J, REGHIN M Y, VENGNCIO W S. Evaluation of herbicides on post-emergent weed control in potato crops [J]. Horticultura Brasileira, 1999, 17(1): 67-69.
- [10] MA Xiaoyan, WU Hanwen, JIANG Weili, et al. Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(9): 1778-1785.
- [11] BENDIXEN L E. Weed hosts of *Meloidogyne*, the root-knot nematodes [M]. Chiang Mai, Thailand: Asian-Pacific Weed Science Society, 1986.
- [12] 张燕. 几种外来入侵植物对关中地区主要作物的化感作用及风险评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [13] 马亚杰, 马小艳, 陈全家, 等. 环境因素对不同地区牛筋草种子萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(17): 60-74.
- [14] CHAUHAN B S, JOHNSON D E. Germination ecology of Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis*) in the Philippines [J]. Weed Science, 2008, 56: 820-825.
- [15] The global sales of pesticides in 2016 [EB/OL]. [2021-01-29]. <https://phillipsmcdougall.com>.
- [16] 郭成林, 覃建林, 马永林, 等. 不同除草剂对火龙果安全性及

牛筋草除草活性[J]. 农药, 2018, 57(4): 305-308.

- [17] 郭文磊, 吴丹丹, 张纯, 等. 5种茎叶处理除草剂对直播稻田禾本科杂草的除草活性及田间防效[J]. 南方农业学报, 2019, 50(6): 1240-1246.
- [18] 宗涛, 李洁, 刘祥英, 等. 湖南省部分地区棉田牛筋草(*Eleusine indica*)对精喹禾灵的抗性[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 58-63.
- [19] 李秉华, 张宏军, 段美生, 等. 河北省夏玉米田杂草群落数量分析[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 60-64.
- [20] 代伟程, 高兴文, 马成立, 等. 泰安市夏玉米田杂草种类及群落构成研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(9): 96-98.
- [21] 马国胜, 毛安元, 陈娟. 不同区域优势草坪杂草及其防除[J]. 农药, 2006(11): 730-732.
- [22] 陈国奇, 冯莉, 田兴山. 广东中部地区高温季节蔬菜田杂草群落特征[J]. 生态科学, 2015, 34(5): 115-121.
- [23] 王新玲. 牛筋草与棉花的竞争作用及对草甘膦的抗药性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [24] 李丹, 李香菊, 于惠林, 等. 我国部分地区水稻田鳢肠对吡啶磺隆的抗性测定[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 196-201.
- [25] 胡芳. 牛筋草对百草枯和草铵膦抗性监测及初步研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [26] 吴翠霞, 张宏军, 张佳, 等. 玉米田主要杂草对烟嘧磺隆的抗性[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 198-203.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 304 页)

- [4] IGHALO J O, ADENIYI A G, ADELODUN A A. Recent advances on the adsorption of herbicides and pesticides from polluted waters: performance evaluation via physical attributes [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2021, 93: 117-137.
- [5] IGHALO J O, AJALA O J, ADENIYI A G, et al. Ecotoxicology of glyphosate and recent advances in its mitigation by adsorption [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(3): 2655-2668.
- [6] MOHAMAT-YUSUFF F, ZULKARNAIN Z, ANUAR N Z A, et al. Impact of diuron contamination on blood cockles (*Tegillarca granosa* Linnaeus, 1758) [J/OL]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 161: 111698. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111698.
- [7] 董立尧, 高原, 房加鹏, 等. 我国水稻田杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 69-76.
- [8] 谷涛, 李永丰, 张自常, 等. 杂草对激素类除草剂抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2021, 47(1): 15-26.
- [9] 史骏, 湛江华, 汪峰, 等. 甬优 1540 机插田插-喷同步封草试验[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(7): 1392-1393.
- [10] 袁元荣, 袁骄艳, 顾永林, 等. 淹水有机栽培模式下水稻产量与品质特征[J]. 中国稻米, 2020, 26(6): 64-66.
- [11] ARMSTRONG W, BRANDLE R, JACKSON M B. Mechanisms of flood tolerance in plants [J]. Acta Botanica Neerlandica, 1994, 43(4): 307-358.
- [12] GIRSANG S S, CORREA T Q, QUILTY J R, et al. Soil aeration and relationship to inorganic nitrogen during aerobic cultivation of irrigated rice on a consolidated land parcel [J/OL]. Soil and Tillage Research, 2020, 202: 104647. DOI: 10.1016/j.still.2020.104647.
- [13] 刘高峰, 周雷茸. 土壤通气不良对作物的影响及改善措施[J]. 现代农业科技, 2015, 13: 272-274.
- [14] ISMAIL A M, ELLA E S, VERGARA G V, et al. Mechanisms associated with tolerance to flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa*) [J]. Annals of Botany, 2009, 103(2): 197-209.
- [15] 王卫, 谢小立, 谢永宏. 稻田土壤种子库研究进展[J]. 环境科学学报, 2010, 19(11): 2758-2763.
- [16] 潘俊峰, 万开元, 李祖章, 等. 施肥模式对晚稻田杂草群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 200-210.
- [17] 董春华, 曾希柏, 文石林, 等. 长期施肥对早稻产量和杂草群落的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3079-3085.
- [18] 董春华, 曾希柏, 刘强, 等. 有机无机肥配施对晚稻产量和杂草群落的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(9): 1815-1823.
- [19] 田志慧, 袁得军, 袁国徽, 等. 双环磺草酮·双唑草腈对杂草稻的生物活性及对水稻的安全性[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 229-234.
- [20] 贾浩然, 张月, 李卫, 等. 嘧草醚对双季稻田杂草的防效及后茬作物的安全性影响[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 242-247.
- [21] 马国兰, 刘都才, 刘雪源, 等. 五氟磺草胺等 6 种除草剂对直播稻田高龄稗草的生物活性及田间控制效果[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 204-208.
- [22] 毕亚玲, 李君君, 戴玲玲, 等. 杂草对除草剂非靶标抗性机理研究进展[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 1-5.

(责任编辑: 田 喆)