



碎米知风草对不同环境因子的适应性及化学防治药剂的筛选

项晶 杨飞 蒋丽琳 范良英 范玉洁 毕亚玲

Adaptability of *Eragrostis japonica* to different environmental factors and screening of herbicides for its control

XIANG Jing, YANG Fei, JIANG Lilin, FAN Liangying, FAN Yujie, BI Yaling

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0503>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

国内苜蓿田杂草化学防除研究进展

Research progress on the chemical control of weeds in alfalfa fields in China

草业科学. 2023, 40(10): 2670 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0044>

不同苗后茎叶除草剂对野牛草初建草坪杂草的防效及安全性评价

Weed-control effectiveness of different post-emergence stem and leaf herbicides in first-established turf of buffalograss and their safety evaluations

草业科学. 2022, 39(2): 247 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0369>

3种看麦娘属杂草的种子萌发及出苗特性

Effects of environmental factors on seed germination and seedling emergence in three *Alopecurus* weeds

草业科学. 2022, 39(10): 2038 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0687>

镉胁迫下青葙种子萌发及幼苗生理特性

Seed germination and seedling physiological characteristics of *Celosia argentea* under cadmium stress

草业科学. 2022, 39(7): 1391 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0652>

盐、旱胁迫下霸王种子萌发和幼苗生理特性

Seed germination and seedling physiological characteristics of *Zygophyllum xanthoxylum* under salt and drought stress

草业科学. 2023, 40(6): 1559 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0023>

17种除草剂对冬小麦田阿拉伯婆婆纳的活性及田间防效评价

Bioactivity and efficacy evaluation of 17 herbicides on *Veronica persica* in winter wheat fields

草业科学. 2023, 40(1): 112 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0222>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0503

项晶, 杨飞, 蒋丽琳, 范良英, 范玉洁, 毕亚玲. 碎米知风草对不同环境因子的适应性及化学防治药剂的筛选. 草业科学, 2024, 41(6): 1371-1383.

XIANG J, YANG F, JIANG L L, FAN L Y, FAN Y J, BI Y L. Adaptability of *Eragrostis japonica* to different environmental factors and screening of herbicides for its control. Pratacultural Science, 2024, 41(6): 1371-1383.

碎米知风草对不同环境因子的适应性及 化学防治药剂的筛选

项晶¹, 杨飞¹, 蒋丽琳¹, 范良英², 范玉洁², 毕亚玲²

(1. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 碎米知风草 (*Eragrostis japonica*) 是稻田恶性禾本科杂草之一。为明确影响碎米知风草种子萌发的主要环境因子, 并筛选有效的化学防治药剂, 采用培养皿法和盆钵法分别测定了温度、光照、pH、盐胁迫、渗透势、埋土深度对碎米知风草种子萌发的影响, 并评价了27种稻田除草剂对碎米知风草的活性。结果表明, 碎米知风草种子在20~40℃内均能萌发, 恒温条件下最适萌发温度为35℃, 变温条件下为35℃/25℃; 其种子对光照较为敏感, 黑暗条件下无法萌发; pH在4~10时种子萌发率在80.67%以上; 随着NaCl浓度的升高, 种子萌发率呈下降趋势, 当NaCl浓度达到160 mmol·L⁻¹时种子停止萌发; 碎米知风草种子对水势较为敏感, 抑制萌发率50%时水势为-0.35 MPa; 当埋土深度达到0.8 cm时可完全抑制种子萌发。活性结果表明, 在推荐剂量下, 土壤处理乙氧氟草醚、噁草酮、丁草胺、异噁草松、硝磺草酮、丙草胺、莎稗磷、二甲戊灵、仲丁灵、扑草净、环戊噁草酮11种药剂对碎米知风草的抑制效果较强, 鲜重抑制率在96.28%以上; 茎叶处理药剂噁唑草胺、禾草丹、敌稗、吡啶喹草酯、苯丙草酮5种药剂对碎米知风草的鲜重抑制率在92.16%~99.36%。该结果可为稻田碎米知风草的化学防治提供参考依据。

关键词: 萌发特性; 杂草; 化学防治; 除草活性; 种子; 水稻田; 胁迫

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)06-1371-13

Adaptability of *Eragrostis japonica* to different environmental factors and screening of herbicides for its control

XIANG Jing¹, YANG Fei¹, JIANG Lilin¹, FAN Liangying², FAN Yujie², BI Yaling²

(1. College of Resources and Environment, Anhui University of Science and Technology, Fengyang 233100, Anhui, China;

2. College of Agriculture, Anhui University of Science and Technology, Fengyang 233100, Anhui, China)

Abstract: *Eragrostis japonica* is one of the malignant gramineous weeds in paddy fields. To clarify the main environmental factors affecting the seed germination of *E. japonica*, the Petri dish and pot methods were conducted to determine the effects of temperature, light, pH, salt stress, osmotic potential, and sowing depth on seed germination. In addition, 27 herbicides were evaluated for the control of *E. japonica*. The results showed that the seeds could germinate at 20~40℃. The temperature of optimum germination was 35℃ under constant temperature and 35℃/25℃ under variable temperature. The seeds of *E. japonica* were light-sensitive, and it was difficult for seeds to germinate in its absence. When the pH was between 4 and 10, the seed germination rate was above 80.67%. With increasing NaCl concentration, the seed germination rate tended to decrease. When the NaCl concentration reached 160 mmol·L⁻¹, seed germination stopped. Seeds of *E. japonica* were

收稿日期: 2023-09-17 接受日期: 2024-03-06

基金项目: 安徽省科技重大专项 (202203a06020016)

第一作者: 项晶 (1999-), 男, 安徽泾县人, 在读硕士生, 主要从事除草剂毒理及应用技术研究。E-mail: ajing202112@163.com

通信作者: 毕亚玲 (1980-), 女, 辽宁建平人, 教授, 硕导, 博士, 主要从事除草剂毒理及杂草抗性研究。E-mail: byl-211@163.com

sensitive to osmotic potential, with the germination rate being inhibited by 50% when the osmotic potential was -0.35 MPa. When the sowing depth reached 8 mm, the seed germination could be completely inhibited. We found that at the recommended dosage, 11 pre-emergence herbicides (oxyfluorfen, oxadiazon, butachlor, clomazone, mesotrione, pretilachlor, anilofos, pendimethalin, butralin, prometryn and pentoxazone) had high activity. Overall, the inhibition rate of the fresh weight was more than 96.28%. The fresh weight inhibition rate of five post-emergence herbicides, viz. metamifop, thiobencarb, propanil, pyraquinat, and pheprodin, on *E. japonica* ranged between 92.16% and 99.36%. These results provide a reference for the chemical control of *E. japonica* in paddy fields.

Keywords: germination characteristics; weeds; chemical control; herbicidal activities; seeds; paddy field; stress

Corresponding author: BI Yaling E-mail: byl-211@163.com

碎米知风草 (*Eragrostis japonica*) 是一年生禾本科画眉草属杂草, 秆直立或膝曲丛生, 叶鞘较节间长; 圆锥花序长圆形, 分枝纤细, 腋间无毛^[1]。喜湿生环境, 多生于田野路旁、河边以及潮湿处, 是秋熟作物田常见恶性杂草之一, 幼苗期与千金子 (*Leptochloa chinensis*) 极其相似, 具有结实量大、易传播、繁殖力强等特性, 广泛分布于我国安徽、江苏、浙江等地^[2]。近年来, 随着现代化农业的发展和耕作栽培制度不断改变, 碎米知风草发生范围已逐年扩大, 逐渐由田埂、沟渠等地入侵农田, 多地区稻田发生严重, 粗放管理下发生量巨大极易形成草荒, 严重威胁水稻 (*Oryza sativa*) 产量, 已成为稻田较难防除的杂草之一^[3-4]。

种子萌发形成种苗是植物生活史中适应自然环境并建立种群的基础, 萌发过程除受到自身遗传因素影响外, 还受到外界环境条件的影响^[5-6], 如温度、光照、盐分、水势等因子。徐丹等^[7]研究发现野老鹳草 (*Geranium carolinianum*) 种子对温度、光照、土壤酸碱度适应性较强, 而水势及盐胁迫对种子萌发有一定影响。外来入侵植物假苍耳 (*Cyclachaena xanthiifolia*) 种子对低温环境表现出一定的耐受性, 且种子寿命为 2~3 年, 这可能是其在东北低温地区快速繁殖和入侵的原因之一^[8]。因此, 分析杂草种子对不同环境因子的适应性, 对预测杂草发生范围以及制订防控方案具有重要意义。张培培^[9]研究表明, 碎米知风草种子没有休眠特性, 但温度、光照、盐胁迫、水势等环境因子对种子萌发具有一定影响。通过研究其生物学特性, 找出生活史链条的薄弱环节, 有助于制定科学的防治策略。

目前, 化学除草剂仍是稻田杂草治理的重要方式^[10-11]。我国水稻田防治禾本科杂草的常用除草剂主要有丁草胺、莎稗磷、噁唑酰草胺、氰氟草酯、敌

稗等^[12-13]。张培培^[9]研究了 15 种除草剂对碎米知风草的影响, 其中丁草胺、莎稗磷、噁草酮等 5 种土壤处理药剂在田间推荐剂量下对碎米知风草的活性较高, 而茎叶处理只有精噁禾草灵和噁唑酰草胺表现出较高的活性; 徐伟东等^[3]研究发现氰氟草酯、噁唑酰草胺等 5 种除草剂对多个种群碎米知风草防治效果均较差, 可供防治碎米知风草的有效药剂种类较少。为优化田间杂草治理方案、提高稻田除草剂应用技术, 本研究系统分析了碎米知风草种子萌发对不同环境因子的响应规律, 并评价了稻田常用除草剂以及多种新型药剂对碎米知风草的活性, 旨在为碎米知风草的化学治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试杂草

碎米知风草种子于 2019 年 10 月采自安徽省滁州市来安县施官镇非耕地 (地势低洼, 易积水, 属湿生环境), 且未使用过除草剂。自然条件下晾晒风干后, 置于 $0\sim 5$ °C 种子冷藏库保存备用。

1.2 供试药剂

从中国农药信息网上选取登记于稻田可防除禾本科杂草的除草剂, 并增加部分新型除草剂, 共 27 种 (其中 12 种土壤处理, 15 种茎叶处理), 除草剂及供试剂量如表 1 所列。

1.3 不同环境因子对碎米知风草种子萌发的影响

1.3.1 萌发试验

试验采用培养皿法, 选择饱满的碎米知风草种子, 用 75% 的酒精消毒后再用蒸馏水漂洗。将直径 9 cm 的培养皿铺垫两层滤纸, 每皿 50 粒种子并加入 10 mL 蒸馏水或待测液, 置于光照培养箱 (GXZ

表 1 供试除草剂及施用剂量
Table 1 Herbicides tested against *Eragrostis japonica* and the application rates applied

编号 No.	供试药剂 Tested herbicide	生产厂家 Corporation	剂量(有效成分) Dose (active ingredient)/(g·hm ⁻²)
1	60%丁草胺乳油 Butachlor 60% EC	祥霖美丰生物科技(淮安)有限公司 Xianglin Meifeng Biotechnology (Huaian) Co., Ltd.	270、540、 <u>1 080</u>
2	96%丙炔噁草酮原药 Oxadiargyl 96% TC	合肥星宇化学有限责任公司 Hefei Xingyu Chemical Co., Ltd	25、50、 <u>100</u>
3	96%异噁草松原药 Clomazone 96% TC	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	65.63、131.25、 <u>262.5</u>
4	97%硝磺草酮原药 Mesotrione 97% TC	江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司 Jiangsu Agrochem Laboratory Co., Ltd.	25.52、51.03、 <u>102.06</u>
5	500 g·L ⁻¹ 丙草胺乳油 Pretilachlor 500 g·L ⁻¹ EC	先正达(苏州)作物保护有限公司 Syngenta (Suzhou) Crop Protection Co., Ltd	131.25、262.5、 <u>525</u>
6	30%莎稗磷乳油 Anilofos 30% EC	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	78.75、157.5、 <u>315</u>
7	98%乙氧氟草醚原药 Oxyfluorfen 98.00% TC	山东维尤纳特生物科技有限公司 Shandong Viyunat Biotechnology Co., Ltd	22.96、45.92、 <u>91.84</u>
8	33%二甲戊灵乳油 Pendimethalin 33% EC	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	247.5、495、 <u>990</u>
9	97.1%噁草酮原药 Oxadiazon 97.1% TC	合肥星宇化学有限责任公司 Hefei Xingyu Chemical Co., Ltd	112.2、224.3、 <u>448.6</u>
10	48%仲丁灵乳油 Butralin 48% EC	张掖市大弓农化有限公司 Zhangye Dagong Agrochemical Co., Ltd	450、900、 <u>1 800</u>
11	40%扑草净可湿性粉剂 Prometryn 40% WP	安徽久易农业股份有限公司 Anhui Jiuyi Agricultural Co., Ltd	225、450、 <u>900</u>
12	97%环戊噁草酮原药 Pentoxazone 97% TC	安徽丰乐农化有限责任公司 Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd	84、168、 <u>336</u>
13	20%氰氟草酯可分散油悬浮剂 Cyhalofop-butyl 20% OD	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	26.25、52.5、 <u>105</u>
14	6%三唑磺草酮可分散油悬浮剂 Tripyrasulfone 6% OD	江苏清原农冠杂草防治有限公司 Jiangsu Qingyuan Nongguan Weed Control Co., Ltd	33.75、67.5、 <u>135</u>
15	25 g·L ⁻¹ 五氟磺草胺可分散油悬浮剂 Penoxsulam 25 g·L ⁻¹ OD	科迪华农业科技有限责任公司 Corteva Agricultural Technology Co., Ltd	7.5、15、 <u>30</u>
16	95%嘧啶肟草醚原药 Pyribenzoxim 95% TC	安徽圣丰生化有限公司 Anhui Shengfeng Biochemical Co., Ltd	9.87、19.74、 <u>39.47</u>
17	10%噁唑酰草胺乳油 Metamifop 10% EC	苏州富美实植物保护剂有限公司 Suzhou Formis Plant Protection Agent Co., Ltd	30、60、 <u>120</u>
18	25%二氯喹啉酸悬浮剂 Quinclorac 25% SC	安徽丰乐农化有限责任公司 Anhui Fengle Agrochemical Co., Ltd	93.75、187.5、 <u>375</u>
19	25%双环磺草酮悬浮剂 Benzobicyclon 25% SC	日本史迪士生物科学株式会社 Stitch Biosciences Co., Ltd. of Japan	56.25、112.5、 <u>225</u>
20	3%氯氟吡啶酯乳油 Florpyrauxifen-benzyl 3% EC	科迪华农业科技有限责任公司 Corteva Agricultural Technology Co., Ltd	9、18、 <u>36</u>
21	10%双草醚悬浮剂 Bispyribac-sodium 10% SC	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	7.5、15、 <u>30</u>
22	50%禾草丹乳油 Thiobencarb 50% EC	浙江威尔达化工有限公司 Zhejiang Wellda Chemical Co., Ltd	562.5、1 125、 <u>2 250</u>
23	98%环酯草醚原药 Pyrifthalid 98% TC	顺毅南通化工有限公司 Shunyi Nantong Chemical Co., Ltd	74.39、148.78、 <u>297.55</u>
24	15%噁嗪草酮乳油 Oxaziclomefone 15% EC	浙江天丰生物科学有限公司 Zhejiang Tianfeng Bioscience Co., Ltd	12.38、24.75、 <u>49.5</u>

续表 1

Table 1 (Continued)

编号 No.	供试药剂 Tested herbicide	生产厂家 Corporation	剂量(有效成分) Dose (active ingredient)/(g·hm ⁻²)
25	34%敌稗水剂 Propanil 34% AS	辽宁省沈阳丰收农药有限公司 Liaoning Shenyang Harvest Pesticide Co., Ltd	1 124.55、2 249.1、 <u>4 498.2</u>
26	5%吡唑啉草酯可分散油悬浮剂 Pyraquinat 5% OD	山东先达农化股份有限公司 Shandong Xianda Agrochemical Co., Ltd	40.13、80.25、 <u>160.5</u>
27	10%苯丙草酮乳油 Pheprodim 10% EC	山东先达农化股份有限公司 Shandong Xianda Agrochemical Co., Ltd	93.75、187.5、 <u>375</u>

加下划线的数字表示该药剂的田间推荐剂量；下同。

EC: emulsifiable concentrate; WP: wettable powder; OD: oil dispersion; TC: technical material; SC: suspension concentrate; AS: aqueous solution. The recommend dose is indicated by the underlined value. This is applicable for Table 4 as well.

智能型光照培养箱)中培养,温度条件为30℃/20℃变温处理,光周期(光照/黑暗)12 h/12 h,相对湿度75%,光强度为12 000 lx。设置4次重复,试验重复2次。以胚根突破种皮约2 mm视为萌发。每天观察并记录种子萌发数,共15 d。

1.3.2 温度对种子萌发的影响

设置恒温和变温两种试验条件,恒温设置15、20、25、30、35、40、45℃共7个处理;变温设置25℃/15℃、30℃/20℃、35℃/20℃、35℃/25℃、40℃/25℃、40℃/30℃、45℃/35℃共7个处理,置于光照培养箱中培养,其他条件同1.3.1。

1.3.3 光照对种子萌发的影响

试验设置0 h/24 h(全黑暗)、6 h/18 h、12 h/12 h(光暗12 h交替)、18 h/6 h、24 h/0 h(全光照)共5个光周期处理,置于光照培养箱中培养,其他条件同1.3.1。

1.3.4 pH对种子萌发的影响

参考Chachlis和Reddy的方法^[14]并进行改进,配制pH为4、5、6、7、8、9、10的缓冲液,分别添加到装有碎米知风草种子的培养皿中,以蒸馏水(pH 7.2)为对照。使用1 mol·L⁻¹ HCl配置pH为4的2 mmol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾缓冲液;使用1 mol·L⁻¹ NaOH分别配置pH为5和6的2 mmol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钠缓冲液、pH为7和8的1 mmol·L⁻¹磷酸氢二钾缓冲液、pH为9和10的2 mmol·L⁻¹三甲基甘氨酸缓冲液。置于光照培养箱中培养,其他条件同1.3.1。

1.3.5 盐胁迫对种子萌发的影响

配制浓度为0、10、20、40、80、160、320 mmol·L⁻¹的NaCl溶液,分别添加到装有碎米知风草种子的培养皿中,置于光照培养箱中培养,其他条件同1.3.1。

1.3.6 水势对种子萌发的影响

分别称取0、36.25、56.1、84.7、106.8、125.5、142 g的PEG 8000溶于500 mL去离子水中,配制成0、-0.1、-0.2、-0.4、-0.6、-0.8、-1.0 MPa的渗透势溶液。浓度与水势换算参照文献^[15]。以蒸馏水为对照,置于光照培养箱中培养,其他条件同1.3.1。

1.3.7 播种深度对种子萌发的影响

采用盆钵法,在底部打孔的塑料盆钵(12 cm×9 cm)中装入适量试验用土,从底部浸水至土壤湿润,每盆播种50粒碎米知风草种子,播种深度设0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 cm共7个处理,每个处理重复4次。置于光照培养箱中,采用底部吸水的方式,保证土壤湿润,其他条件同1.3.1。

1.4 不同除草剂对碎米知风草的影响

试验参照《农药室内生物测定试验准则》^[16-17],采用盆钵法,将碎米知风草种子均匀播入装有营养混合土(砂土:基质=2:1,山东商道生物科技有限公司生产)、规格为直径10 cm×高8 cm的花盆中。每盆播种30粒,适当覆土,盆底部吸水至饱和后放入温室内[光照:16 h/8 h(光/暗);温度:(25±5)℃;相对湿度:60%~75%]培养,待长至三叶期间苗,每盆保留20株,进行茎叶喷雾处理。土壤处理在播后24 h进行喷雾。使用HCL-2000行走式喷雾塔均匀喷雾,扇形喷头距离施药叶面50 cm,喷液量450 L·hm⁻²,喷液压力0.275 MPa,每处理重复4次。根据药剂施用后碎米知风草的受害症状和鲜重抑制率,将供试除草剂划分为4类,分类标准:活性高(90%~100%)、活性较高(70%~89%)、活性较低(50%~69%)、无活性(0~49%)^[18]。药后21 d,统计存活株数,并称

取地上部分鲜重, 计算株数和鲜重抑制率。

1.5 数据分析

试验数据使用 Excel 2010 整理, DPS 7.05 软件中 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析。使用 SigmaPlot 14.0 进行曲线拟合。萌发率、萌发指数、平均萌发时间、鲜重抑制率、株抑制率计算公式如下:

$$\text{种子萌发率} = \frac{\text{供试种子发芽数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%; \quad (1)$$

$$\text{萌发指数} = \sum_{i=1}^n N_i/D_i; \quad (2)$$

$$\text{平均萌发时间} = \sum N_i D_i / \sum N_i; \quad (3)$$

$$P = [(W_{CK} - W_t)/W_{CK}] \times 100\%; \quad (4)$$

$$Z = [(F_{CK} - F_t)/F_{CK}] \times 100\%。 \quad (5)$$

式中: N_i 为第 i 天萌发种子数; D_i 为相应的萌发时间; n 为萌发持续时间。 P 为鲜重抑制率 (%); W_{CK} 为对照组鲜重 (g); W_t 为处理组鲜重 (g); Z 为株数抑制率 (%); F_{CK} 为对照组株数; F_t 为处理组株数。

利用回归方程研究分析确定水势、盐胁迫、埋土深度与最终萌发率的拟合曲线方程为:

$$G = G_{\max} / [1 + (x/x_{50})^k]。 \quad (6)$$

式中: x 为水势、盐浓度、埋土深度; G 为水势、盐浓度、埋土深度为 x 时的萌发率; G_{\max} 为萌发率最高值; x_{50} 表示萌发率为 50% 时的水势、盐浓度、埋土深度; k 为方程斜率。

确认温度、水势、盐胁迫对种子实时萌发率影响的拟合曲线方程为:

$$E = a / \{1 + \exp[-(x - t_{E_{50}})/b]\}。 \quad (7)$$

式中: E 为在萌发时间为 x 时种子的萌发率; a 为萌发率; $t_{E_{50}}$ 表示萌发率达到 50% 时的天数; b 为方程斜率。

2 结果与分析

2.1 温度对种子萌发的影响

结果表明, 碎米知风草种子在 20~40 °C 温度条件下均能萌发, 在 25、30、35、40 °C 恒温条件下, 萌发率在 90.00%~94.67%, 萌发率最高时温度为 35 °C; 而温度在 15、45 °C 时, 种子无法萌发 (图 1)。此外, 在恒温 20~35 °C 范围内, 随着温度的升高, 碎米知风草萌发率达到 50% 所需要的时间均不断减少, 萌发指数不断提高 (表 2)。

在 30 °C/20 °C、35 °C/20 °C、35 °C/25 °C、40 °C/25 °C 变温条件下, 碎米知风草种子萌发率均在 90.00% 以上, 其中 35 °C/25 °C 时萌发率最高, 为 96.00% (图 1), 且萌发率达到 50% 所需要时间最短, 萌发指数最高 (表 2)。当温度设置为 25 °C/15 °C、40 °C/30 °C、45 °C/35 °C 时, 碎米知风草种子萌发率显著低于其他温度处理 ($P < 0.05$) (图 1)。因此, 恒温条件下碎米知风草种子的最适萌发温度为 35 °C, 变温条件下碎米知风草种子的最适萌发温度为 35 °C/25 °C。

2.2 光照对种子萌发的影响

在 6 h/18 h、12 h/12 h、18 h/6 h、24 h/0 h (光照/黑

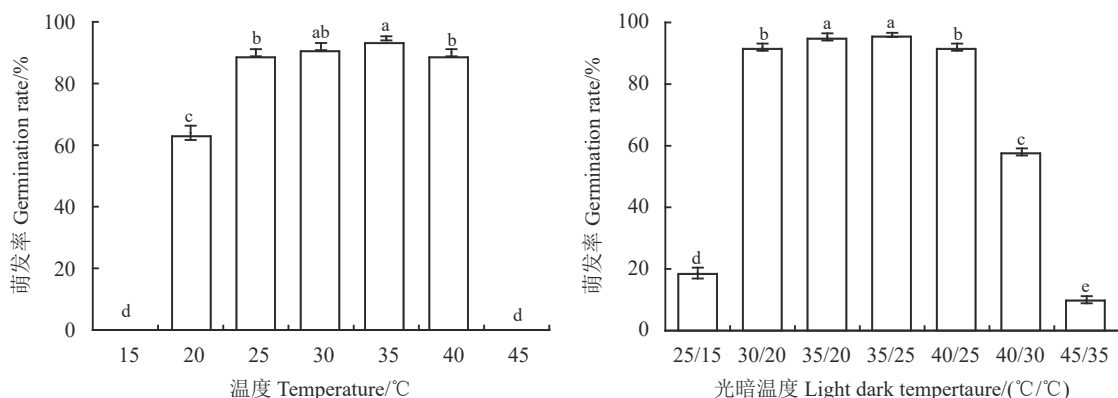


图 1 温度和光暗温度对碎米知风草种子萌发的影响

Figure 1 Effects of temperature and light dark temperature on seed germination of *Eragrostis japonica*

不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$); 下同。

Different lowercase letters indicate significant differences between each treatment at the 0.05 level. This is applicable for the following tables and figures as well.

表2 不同处理对碎米知风草种子萌发的影响
Table 2 Effects of different treatments on the seed germination of *Eragrostis japonica*

恒温处理 Constant temperature/°C	萌发50%所 需要时间 $t_{E_{50}}$ /d	平均萌发时间 Mean germination time/d	萌发指数 Germination index	变温处理 Variable temperature/ (°C/°C)	萌发50%所 需要时间 $t_{E_{50}}$ /d	平均萌发时间 Mean germination time/d	萌发指数 Germination index
15	—	—	—	25/15	—	9.36 ± 0.05a	0.29 ± 0.03e
20	4.02 ± 0.07a	11.73 ± 0.04a	0.89 ± 0.03e	30/20	2.71 ± 0.02a	9.15 ± 0.01b	1.61 ± 0.02c
25	3.19 ± 0.10b	11.08 ± 0.06b	1.51 ± 0.03d	35/20	2.21 ± 0.07b	8.90 ± 0.03c	1.88 ± 0.03b
30	2.74 ± 0.13c	10.80 ± 0.08c	1.66 ± 0.02c	35/25	1.88 ± 0.07c	8.76 ± 0.04c	1.98 ± 0.04a
35	2.09 ± 0.08d	10.45 ± 0.05d	1.88 ± 0.03a	40/25	1.96 ± 0.11c	8.82 ± 0.04c	1.86 ± 0.01b
40	2.10 ± 0.14d	10.46 ± 0.06d	1.78 ± 0.01b	40/30	2.01 ± 0.06b	8.77 ± 0.04c	1.19 ± 0.03d
45	—	—	—	45/35	—	9.27 ± 0.08ab	0.16 ± 0.01f

暗)的光周期条件下,碎米知风草种子均能萌发。其在光周期每天达到12h及以上时,培养6d后其萌发率均在90.00%以上,而在黑暗条件下,碎米知风草种子无法萌发(图2)。说明碎米知风草种子的萌发需要一定的光照。

2.3 pH对种子萌发的影响

碎米知风草种子萌发适宜的pH范围较广。pH在4~10,各处理萌发率在80.67%~95.33%,除去pH为9、10时,其他处理间无明显差异($P < 0.05$)(图3)。我国土壤pH大多数在4.5~8.5,适合碎米知风草种子萌发,说明碎米知风草有扩大危害范围的风险。

2.4 盐胁迫对种子萌发的影响

随着NaCl浓度的升高,碎米知风草种子萌发率呈下降趋势,当NaCl浓度达到160 mmol·L⁻¹,种子无法萌发(图4)。NaCl浓度与碎米知风草种子的最

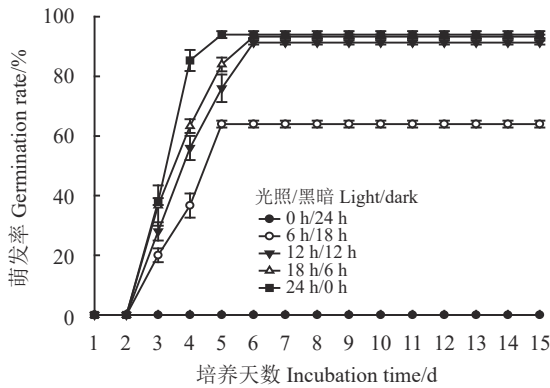


图2 光周期对碎米知风草种子萌发的影响
Figure 2 Effect of photoperiod on the seed germination of *Eragrostis japonica*

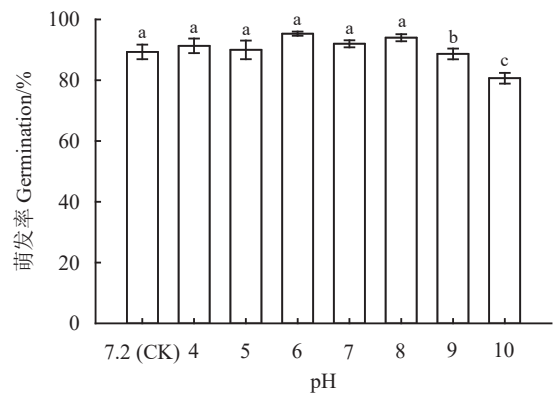


图3 pH对碎米知风草种子萌发的影响
Figure 3 Effect of pH values on the seed germination of *Eragrostis japonica*

终萌发率非线性方程为 $G = 91.37/[1 + (x/95.32)^{8.42}]$ ($R^2 = 0.99, P < 0.01$),抑制其萌发率50%的NaCl浓度为95.32 mmol·L⁻¹。NaCl浓度的升高延长了萌发50%所需要时间和平均萌发时间,同时萌发指数呈下降趋势(表3)。因此,土壤中的盐分对碎米知风草的萌发有一定抑制作用。

2.5 水势对种子萌发的影响

碎米知风草种子最终萌发率与水势拟合曲线方程为 $G = 91.98/[1 + (x/0.35)^{3.56}]$ ($R^2 = 0.99, P < 0.01$)(图4),在0~-0.2 MPa的水势范围内,碎米知风草种子萌发率在80.67%~94.67%,随着水势的降低,碎米知风草种子萌发率也逐渐降低,抑制其萌发率50%所需的水势为-0.35 MPa,而水势在-0.3~-0.6 MPa时,萌发率为8.67%~54.00%。伴随着水势的降低,抑制萌发50%所需要的时间和平均萌发时间呈上升趋势,萌发指数呈降低趋势(表3)。

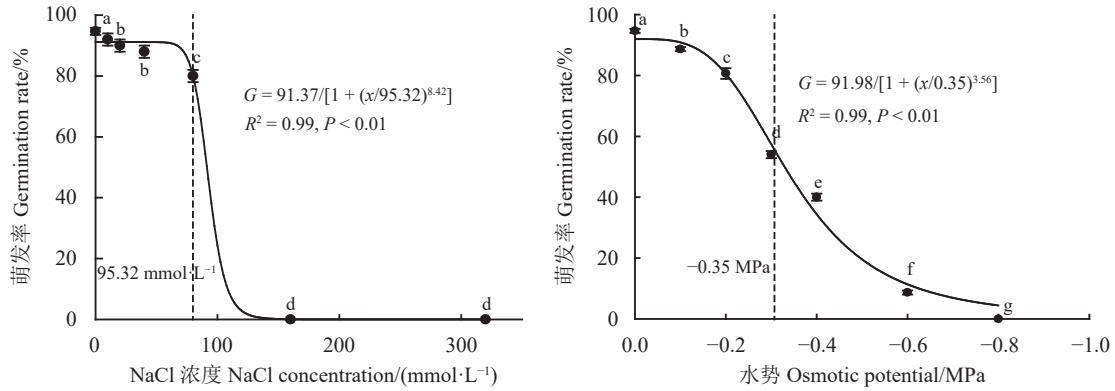


图 4 盐胁迫和水势对碎米知风草种子萌发的影响

Figure 4 Effects of salt stress and osmotic potential on the seed germination of *Eragrostis japonica*

表 3 不同处理对碎米知风草种子萌发的影响

Table 3 Effects of different treatments on the seed germination of *Eragrostis japonica*

盐胁迫 NaCl stress/ (mmol·L ⁻¹)	萌发50%所需要时间 <i>t</i> _{E50} /d	平均萌发时间 Mean germination time/d	萌发指数 Germination index	水势 Osmotic potential/ MPa	萌发50%所需要时间 <i>t</i> _{E50} /d	平均萌发时间 Mean germination time/d	萌发指数 Germination index
0	2.37 ± 0.05e	8.95 ± 0.02e	1.80 ± 0.01a	0	2.46 ± 0.09c	8.99 ± 0.04d	1.77 ± 0.02a
10	2.64 ± 0.08d	9.07 ± 0.04d	1.67 ± 0.01b	-0.1	2.72 ± 0.01b	9.11 ± 0.02c	1.59 ± 0.02b
20	2.90 ± 0.08c	9.16 ± 0.03c	1.55 ± 0.04c	-0.2	2.90 ± 0.45b	9.17 ± 0.02c	1.41 ± 0.04c
40	3.83 ± 0.03b	9.56 ± 0.02b	1.31 ± 0.02d	-0.3	5.04 ± 0.06a	10.21 ± 0.03a	0.62 ± 0.01d
80	4.39 ± 0.05a	9.89 ± 0.03a	0.97 ± 0.02e	-0.4	—	10.11 ± 0.06a	0.47 ± 0.01e
160	—	—	—	-0.6	—	10.00 ± 0.01b	0.10 ± 0.01f
320	—	—	—	-0.8	—	—	—

2.6 播种深度对种子萌发的影响

土层深度与碎米知风草种子最终萌发率的非线性方程为 $G = 84.44/[1 + (x/0.15)^{1.43}]$ ($R^2 = 0.98, P < 0.01$) (图 5), 随着播种深度的升高, 碎米知风草种子出苗率急剧下降, 抑制其萌发率 50% 时播种深度为 0.15 cm, 当播种深度达到 0.8 cm 时, 种子无法萌发。因此, 耕翻可以有效防治碎米知风草的发生。

2.7 稻田除草剂对碎米知风草的除草活性

2.7.1 土壤处理药剂对碎米知风草的影响

土壤喷雾处理 21 d 后发现, 乙氧氟草醚、噁草酮、丁草胺、异噁草松、硝磺草酮、丙草胺、莎稗磷、二甲戊灵、仲丁灵、扑草净、环戊噁草酮对碎米知风草的活性最高, 推荐剂量下鲜重抑制率达 96.28% 以上, 株数抑制率达 86.67% 以上 (表 4); 但丙炔噁草酮对碎米知风草活性较差, 在最高供试剂量 100 g·hm⁻² 下, 鲜重抑制率为 20.75%, 株数抑制率为 33.33%。结果表明, 除丙炔噁草酮外的其他供试药剂均对碎米知风草有较高的活性。

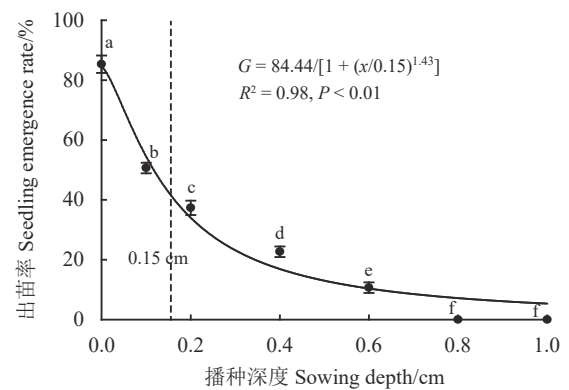


图 5 播种深度对碎米知风草种子萌发的影响

Figure 5 Effects of sowing depth on the seed germination of *Eragrostis japonica*

2.7.2 茎叶处理药剂对碎米知风草的影响

随着供试剂量的增加, 其对碎米知风草的活性明显上升 (表 5)。供试最高剂量下, 噁唑酰草胺、禾草丹、敌稗、吡唑喹草酯、苯丙草酮活性最高, 植株失绿、枯死、抑制等药效症状明显, 鲜重抑制率分别为 98.64%、94.61%、99.06%、92.18%、99.36%。双环

表 4 不同土壤处理药剂对碎米知风草活性的影响
Table 4 Activity of different pre-emergence herbicides on *Eragrostis japonica*

编号 No.	供试药剂 Tested herbicide	剂量(有效成分) Dose (active ingredient)/(g·hm ⁻²)	株数抑制率 Inhibiting rate of stem number/%	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%
1	60%丁草胺乳油 Butachlor 60% EC	270	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		540	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>1 080</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
2	96%丙炔噁草酮原药 Oxadiazon 98.2% TC	25	0.00 ± 0.00c	3.64 ± 0.70a
		50	13.33 ± 3.53b	9.46 ± 3.66a
		<u>100</u>	33.33 ± 3.33a	20.75 ± 8.10a
3	96%异噁草松原药 Clomazone 96% TC	65.63	80.00 ± 3.33b	93.61 ± 1.02a
		131.25	93.33 ± 3.33a	96.98 ± 0.87a
		<u>262.5</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
4	97%硝磺草酮原药 Mesotrione 97% TC	25.52	83.33 ± 3.33b	97.98 ± 0.27a
		51.03	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>102.06</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
5	500 g·L ⁻¹ 丙草胺乳油 Pretilachlor 500 g·L ⁻¹ EC	131.25	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		262.5	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>525</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
6	30%莎稗磷乳油 Anilofos 30% EC	78.75	83.33 ± 3.33b	93.91 ± 1.18b
		157.5	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>315</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
7	98%乙氧氟草醚原药 Oxyfluorfen 98.00% TC	22.96	66.66 ± 3.33b	80.04 ± 0.66c
		45.92	83.33 ± 3.33a	89.91 ± 0.44b
		<u>91.84</u>	86.67 ± 3.33a	97.19 ± 0.55a
8	33%二甲戊灵乳油 Pendimethalin 33% EC	247.5	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		495	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>990</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
9	97.1%噁草酮原药 Oxadiazon 97.1% TC	112.2	50.00 ± 5.77b	74.46 ± 1.83c
		224.3	73.33 ± 3.33a	85.10 ± 0.91b
		<u>448.6</u>	86.67 ± 3.33a	96.28 ± 0.47a
10	48%仲丁灵乳油 Butralin 48% EC	450	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		900	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>1 800</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
11	40%扑草净可湿性粉剂 Prometryn 40% WP	225	83.33 ± 3.33b	96.36 ± 0.54b
		450	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
		<u>900</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
12	97%环戊噁草酮原药 Pentoxazone 97% TC	84	80.00 ± 5.77b	93.08 ± 2.99b
		168	90.00 ± 0.00ab	96.49 ± 0.07ab
		<u>336</u>	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a

同列不同字母表示同药剂不同剂量间差异显著($P < 0.05$)。表5同。

Different lowercase letters indicate significant differences between different doses of each herbicide at the 0.05 level. This is applicable for Table 5 as well.

磺草酮、双草醚、环酯草醚、噁嗪草酮的活性次之, 鲜重抑制率在 71.13%~84.70%, 可作为防除碎米知风草的备选药剂。五氟磺草胺、嘧啶肟草醚、二氯喹啉酸、氯氟吡啶酯、氰氟草酯、三唑磺草酮对碎米知风草的活性较差, 鲜重抑制率在 5.34%~43.21%。

3 讨论

3.1 不同环境因子对碎米知风草种子萌发的影响

本研究发现, 碎米知风草种子在温度 20~40 °C 内均能萌发, 适应范围较广, 这与水稻种植季节环境温度接近, 可能是其逐渐成为稻田优势杂草的主要原因之一。光是种子萌发过程中起到重要调控作用的环境因子, 通过强度、质量或持续时间来控制种子萌发过程^[19-20]。光照能促进种子的萌发率, 但并不是所有种子萌发的必需条件, 有些杂草种子对光照需求不敏感, 如牛筋草 (*Eleusine indica*)^[21]、稗草 (*Echinochloa crus-galli*)^[22] 等在光照和黑暗条件下萌发无明显差异。本研究中, 光照是碎米知风草种子萌发的必需条件, 该特性与糠稷 (*Panicum bisulcatum*)^[23]、鳢肠 (*Eclipta prostrata*)^[24] 等种子在黑暗条件下无法萌发相一致。另外, 种子对光的感应确定了其在土层中的分布位置和播种深度, 越接近土壤表层, 萌发率和出苗率越高。由于碎米知风草种子体积较小、顶土能力差及胚乳或子叶所储存的能量物质较少, 其萌发所需要的氧气、光照随着土层深度增加而下降, 当处于 0.8 cm 深度时无法萌发。因此, 播种前期可通过耕翻等措施来抑率碎米知风草的萌发。

杂草种子对土壤酸碱度适应范围较宽, 在土壤 pH 4~10 内均可萌发^[25-26]。本研究发现, 碎米知风草种子在该范围内同样能萌发, 且对盐分耐受性较强, 在 95.32 mmol·L⁻¹ NaCl 浓度下萌发率为 50%。因此土壤酸碱度与盐胁迫也难以限制碎米知风草的发展和传播。当水势为 -0.3 MPa 时, 此时土壤含水量约为 10%^[27], 碎米知风草种子萌发率在 50% 左右, 表明碎米知风草在旱地和水田均能发生。随着水势的升高, 种子萌发率逐渐上升, 但由于水稻田长期处于积水状态, 土壤含水量达到饱和, 水势近乎为 0 MPa, 此时种子萌发率最高, 这可能是碎米知风草在水田发生多于旱地的原因之一。因此, 碎米知风草种子对环境胁迫的适应性较强, 在一定高

温、水势、盐胁迫下种子均能萌发, 该特性与其在水稻田发生相一致。本研究结果有利于掌握碎米知风草的发生与危害规律, 监测碎米知风草可能蔓延的地区, 对制定科学防控决策, 适时防治, 提高防治效果, 减少产量损失具有重要意义。

3.2 不同除草剂对碎米知风草的影响

徐伟东等^[28]、庄家文等^[29] 调查发现, 碎米知风草已经成为部分区域优势种, 且有扩散趋势, 严重危害水稻生产。基于碎米知风草的大面积发生及可能蔓延的趋势引起了诸多学者的关注。张培培^[9] 研究发现多数苗前土壤处理药剂能有效抑制碎米知风草; 夏志铭^[30] 研究结果表明敌稗对 14 个碎米知风草种群均有较高的活性。本研究中, 在碎米知风草发生严重的稻田, 土壤处理可选用药剂丁草胺、丙草胺、莎稗磷等药剂; 同时, 可采用“一封一杀”的除草模式, 对于前期田间管理不当或封闭药剂防治效果不佳时, 后期茎叶处理可选择噁唑酰草胺、敌稗、苯丙草酮等药剂, 以降低碎米知风草对稻田的危害。此外, 生产实践中应根据不同地区水稻种植模式及除草剂理化性质来选择适宜药剂, 如丙草胺主要用于水直播稻田且对少数米质优良、抗逆性差的水稻品种比较敏感; 敌稗在盐碱地较重的秧田施用时应注意由于晒田引起泛盐而易发生药害, 可在保浅水或秧根湿润情况下施药。

乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACCCase) 类抑制剂, 因其作用点位单一, 长期使用已导致多种杂草产生抗药性^[31-32]。据相关文献报道, 所测碎米知风草已对氰氟草酯产生了抗药性^[3]。本研究中, 氰氟草酯、噁唑酰草胺和苯丙草酮虽同为 ACCCase 类抑制剂, 但噁唑酰草胺和苯丙草酮能够有效防治碎米知风草, 而氰氟草酯防治效果较差, 分析原因可能是当地用药习惯和使用剂量而导致碎米知风草对氰氟草酯产生抗药性。目前登记明确以碎米知风草为防治对象的药剂较少, 关于碎米知风草的防治主要借鉴于千金子等禾本科杂草的防控技术, 随意选用除草剂可能是导致碎米知风草防治失败的主要原因。因此, 为指导当地杂草的有效防除, 开展杂草种群对除草剂的敏感性监测尤为重要。本研究中, 新型除草剂吡啶喹草酯、苯丙草酮还未在稻田大面积推广, 其在水稻田具体应用技术有待进一步探究。

现阶段对于碎米知风草防控的同时, 应考虑稻

表 5 不同茎叶处理药剂对碎米知风草活性的影响
 Table 5 Activity of different herbicidal stem-leaf treatments on *Eragrostis japonica*

编号 No.	供试药剂 Tested herbicide	剂量(有效成分) Dose (active ingredient)/(g·hm ⁻²)	株数抑制率 Inhibiting rate of stem number/%	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%
1	20%氰氟草酯可分散油悬浮剂 Cyhalofop-butyl 20% OD	26.25	20.00 ± 2.89b	19.02 ± 2.69b
		52.5	28.33 ± 1.67ab	36.02 ± 2.46a
		<u>105</u>	38.33 ± 6.01a	42.00 ± 3.11a
2	6%三唑磺草酮可分散油悬浮剂 Tripyrasulfone 6% OD	33.75	6.67 ± 1.67b	4.13 ± 2.08b
		67.5	11.67 ± 1.67ab	11.46 ± 2.37a
		<u>135</u>	13.33 ± 1.67a	12.62 ± 4.41a
3	25 g·L ⁻¹ 五氟磺草胺可分散油悬浮剂 Penoxsulam 25 g·L ⁻¹ OD	7.5	3.33 ± 1.67a	1.17 ± 0.45b
		15	5.00 ± 2.89a	3.11 ± 0.93ab
		<u>30</u>	8.33 ± 1.67a	8.71 ± 3.14a
4	95%嘧啶肟草醚原药 Pyribenzoxim 95% TC	9.87	0.00 ± 0.00b	3.04 ± 0.27c
		19.74	3.33 ± 1.67a	6.24 ± 0.41b
		<u>39.47</u>	5.00 ± 0.00a	9.27 ± 0.27a
5	10%噁唑酰草胺乳油 Metamifop 10% EC	30	75.00 ± 2.89b	93.92 ± 0.37ab
		60	83.33 ± 1.67a	97.18 ± 0.33a
		<u>120</u>	86.67 ± 1.67a	98.64 ± 0.16a
6	25%二氯喹啉酸悬浮剂 Quinclorac 25% SC	93.75	13.33 ± 1.67b	18.23 ± 3.23b
		187.5	18.33 ± 1.67b	21.52 ± 2.21b
		<u>375</u>	30.00 ± 2.89a	43.21 ± 1.86a
7	25%双环磺草酮悬浮剂 Benzobicyclon 25% SC	56.25	8.33 ± 1.67c	11.66 ± 3.52c
		112.5	65.00 ± 2.89b	70.15 ± 1.29b
		<u>225</u>	76.67 ± 1.67a	84.70 ± 1.92a
8	3%氯氟吡啶酯乳油 Florpyrauxifen-benzyl 3% EC	9	0.00 ± 0.00b	3.52 ± 0.26a
		18	3.33 ± 1.67a	4.96 ± 0.76a
		<u>36</u>	5.00 ± 0.00a	5.34 ± 0.74a
9	10%双草醚悬浮剂 Bispyribac-sodium 10% SC	7.5	40.00 ± 2.89b	62.53 ± 1.59b
		15	55.00 ± 2.89a	70.42 ± 2.52ab
		<u>30</u>	60.00 ± 2.89a	74.47 ± 3.52a
10	50%禾草丹乳油 Thiobencarb 50% EC	562.5	53.33 ± 1.67c	66.83 ± 0.99c
		1 125	61.67 ± 1.67b	87.00 ± 0.52b
		<u>2 250</u>	78.33 ± 1.67a	94.61 ± 0.84a
11	98%环酯草醚原药 Pyriftalid 98% TC	18.23	51.67 ± 1.67b	61.27 ± 1.51b
		36.45	56.67 ± 1.67b	64.53 ± 1.76b
		<u>72.9</u>	65.00 ± 2.89a	71.13 ± 0.88a

续表 5

Table 5 (Continued)

编号 No.	供试药剂 Tested herbicide	剂量(有效成分) Dose (active ingredient)/(g·hm ⁻²)	株数抑制率 Inhibiting rate of stem number/%	鲜重抑制率 Inhibiting rate of fresh weight/%
12	15%噁嗪草酮乳油 Oxaziclomefone 15% EC	12.38	18.33 ± 1.67c	42.45 ± 0.95c
		24.75	56.67 ± 3.33b	61.19 ± 1.59b
		<u>49.5</u>	70.00 ± 2.89a	81.69 ± 0.63a
13	34%敌稗水剂 Propanil 34% AS	1 124.55	60.00 ± 2.88c	66.62 ± 0.74c
		2 249.1	78.33 ± 1.67b	95.31 ± 0.13b
		<u>4 498.2</u>	96.67 ± 3.33a	99.06 ± 0.20a
14	5%吡唑啉草酯可分散油悬浮剂 Pyraquinat 5% OD	40.13	20.00 ± 2.87c	25.66 ± 6.89c
		80.25	45.00 ± 2.89b	62.67 ± 0.49b
		<u>160.5</u>	86.67 ± 2.89a	92.18 ± 1.14a
15	10%苯丙草酮乳油 Pheprodin 10% EC	93.75	80.00 ± 2.88b	90.64 ± 0.51ab
		187.5	91.67 ± 1.67a	98.75 ± 0.39a
		<u>375</u>	93.33 ± 3.33a	99.36 ± 0.19a

田其他优势杂草及当地用药水平,并据此合理选择除草剂以及多类型药剂交替混用,对碎米知风草的化学治理、推进除草剂减量增效举措、实现农药减量化使用等均具有重要意义。本研究仅在室内进行了多种除草剂对碎米知风草的活性筛选,施药叶龄单一,下阶段应开展更多龄期施药试验,丰富碎米知风草化学防除技术。

4 结论

研究了碎米知风草对不同环境因子的适应性,并筛选出能够防治碎米知风草的有效药剂。结果表

明: 1) 碎米知风草种子为需光种子,处于土层 0.8 cm 以下时无法萌发,其对温度、pH、水势、盐胁迫具有较宽的适应范围,能适应水稻田各种生境,在田间有继续扩散蔓延的风险。因此,生产实践中可通过深耕等农艺措施来阻碍其在田间的发生。2) 土壤处理药剂乙氧氟草醚、噁草酮、丁草胺、异噁草松、硝磺草酮、丙草胺、莎稗磷、二甲戊灵、仲丁灵、扑草净、环戊噁草酮以及茎叶处理药剂噁唑啉草胺、禾草丹、敌稗、吡唑啉草酯、苯丙草酮在推荐剂量下对碎米知风草的活性较高,可依据本研究结果因地制宜选用适宜的除草剂,以达到碎米知风草的高效防除。

参考文献 References:

- [1] 李扬汉. 中国杂草志. 北京: 中国农业出版社, 1998.
LI Y H, Weed Journal of China. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1998.
Editorial Committee of Chinese Flora of the Chinese Academy of Sciences. Flora of China. Beijing: Science Press, 1998.
- [3] 徐伟东, 陆强, 王晔青, 黎菊, 姚晓明, 高吉良. 稻田不同种群乱草形态差异及药剂防治效果比较. 杂草学报, 2020, 38(1): 55-61.
XU W D, LU Q, WANG Y Q, LI J, YAO X M, GAO J L. Morphological differences and response to herbicides among *Eragrostis japonica* (Thunb.) Trin. communities in rice. Journal of Weeds, 2020, 38(1): 55-61.
- [4] 周凤艳, 张勇, 周振荣, 沈艳, 李沛明. 不同除草剂对乱草的防除效果比较研究. 杂草学报, 2018, 36(1): 48-52.
ZHOU F Y, ZHANG Y, ZHOU Z R, SHEN Y, LI P M. Comparative study on the effects of different herbicides on *Eragrostis japonica*. Journal of Weed Science, 2018, 36(1): 48-52.

- [5] 闫磊, 赵彦坤, 朱辉, 何彩, 晋敏, 胡芳, 刘伟. 盐、旱胁迫下霸王种子萌发和幼苗生理特性. 草业科学, 2023, 40(6): 1559-1567.
YAN L, ZHAO Y K, ZHU H, HE C, JIN M, HU F, LIU W. Seed germination and seedling physiological characteristics of *Zygophyllum xanthoxylum* under salt and drought stress. Pratacultural Science, 2023, 40(6): 1559-1567.
- [6] DHANDA S, SHARMA K, CHAUHAN B S. Germination responses of vipergrass (*Dinebra retroflexa*) to environmental factors and herbicide options for its control. *Weed Science*, 2023, 71(2): 124-132.
- [7] 徐丹, 付瑞霞, 董立尧. 野老鹳草 *Geranium carolinianum* 种子的萌发条件. 植物保护学报, 2020, 47(5): 1048-1054.
XU D, FU R X, DONG L Y. The environmental factors affecting seed germination of carolina crane's-bill *Geranium carolinianum*. Journal of Plant Protection, 2020, 47(5): 1048-1054.
- [8] 王丽娟, 李爱雨, 冯旭, 武佳文, 王雪, 刘丹, 李翠婷, 徐永清. 外来入侵植物假苍耳种子的萌发特性. 生态学杂志, 2021, 40(7): 1979-1987.
WANG L J, LI A Y, FENG X, WU J W, WANG X, LIU D, LI C T, XU Y Q. Seed germination of an invasive species *Iva xanthifolia*. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(7): 1979-1987.
- [9] 张培培. 碎米知风草 (*Eragrostis japonica*) 生物学生态学特性及化学防除技术研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2014.
ZHANG P P. Research on the biological ecological characteristics and chemical control technology of *Eragrostis japonica*. Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [10] 周文冠, 孟永杰, 陈锋, 帅海威, 刘建伟, 罗晓峰, 杨文钰, 舒凯. 除草剂研发及其复混使用的现状与展望. 草业科学, 2018, 35(1): 93-105.
ZHOU W G, MENG Y J, CHEN F, SHUAI H W, LIU J W, LUO X F, YANG W Y, SHU K. Current status and research progress of development and tankmix application of herbicides. Pratacultural Science, 2018, 35(1): 93-105.
- [11] 王云, 王蔚, 杨子江. 9种除草剂对狗牙根草坪中鸡眼草的防除效果. 草业科学, 2018, 35(1): 69-75.
WANG Y, WANG W, YANG Z J. Control effects of nine herbicides on *Kummerowia striata* in *Cynodon dactylon* lawn. Pratacultural Science, 2018, 35(1): 69-75.
- [12] 赵英鹏, 赵平, 李新. 全球水稻田除草剂概况及新品种介绍. 农药, 2021, 60(9): 631-633, 646.
ZHAO Y P, ZHAO P, LI X. Global overview and new varieties of herbicides in rice fields. Agrochemicals, 2021, 60(9): 631-633, 646.
- [13] 董立尧, 高原, 房加鹏, 陈国奇. 我国水稻田杂草抗药性研究进展. 植物保护, 2018, 44(5): 69-76.
DONG L Y, GAO Y, FANG J P, CHEN G Q. Research progress on the herbicide-resistance of weeds in rice fields in china. Journal of Plant Protection, 2018, 44(5): 69-76.
- [14] CHACHALIS D, REDDY K N. Factors affecting campsis radicans seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, 2000, 48(2): 212.
- [15] MICHEL B E, RADCLIFFE D. A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes. *Agronomy Journal*, 1995, 87(1): 126.
- [16] 中华人民共和国农业农村部农药检定所, 中国国家标准化管理委员会. NY/T 1155.4—2006 农药室内生物测定试验准则. 除草剂第4部分: 活性测定试验 茎叶喷雾法. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Pesticide Control Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. NY/T 1155.4—2006, Guidelines for Indoor Bioassay Tests of Pesticides, Part 4: FoliaR Spray Application Test for Herbicide Activity. Beijing: China Agricultural Press, 2006.
- [17] 中华人民共和国农业农村部农药检定所, 中国国家标准化管理委员会. NY/T 1155.4—2006 农药室内生物测定试验准则 除草剂. 第3部分: 活性测定试验. 土壤喷雾法. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Pesticide Control Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. NY/T 1155.4—2006, Guidelines for Indoor Bioassay Tests of Pesticides, Part 4: Soil Spray Application Test for Herbicide Bioactivity. Beijing: China Agricultural Press, 2006.
- [18] 许锦程, 戴魏真, 万永乐, 吴守鹏, 吴向辉, 毕亚玲. 17种除草剂对冬小麦田阿拉伯婆婆纳的活性及田间防效评价. 草业科学, 2023, 40(1): 112-123.
XU J C, DAI W Z, WAN Y L, WU S P, WU X H, BI Y L. Bioactivity and efficacy evaluation of 17 herbicides on *Veronica persica* in winter wheat fields. Pratacultural Science, 2023, 40(1): 112-123.
- [19] 崔现亮, 邱其伟, 李孙洋, 罗娅婷. 光照对糯扎渡自然保护区27种路边植物种子萌发的影响. 草业科学, 2023, 40(3): 692-701.
CUI X L, QIU Q W, LI S Y, LUO Y T. Effects of light conditions on seed germination of 27 roadside plants from the nuozhadu

- nature protected area. *Pratacultural Science*, 2023, 40(3): 692-701.
- [20] MAHAJAN G, MATLOOB A, WALSH M, CHAUHAN B S. Germination ecology of two australian populations of african turnipweed (*Sisymbrium thellungii*). *Weed Science*, 2018, 66(6): 752-757.
- [21] 马亚杰, 马小艳, 陈全家, 任相亮, 胡红岩, 姜伟丽, 王丹, 董合林, 马艳. 环境因素对不同地区牛筋草种子萌发的影响. *中国农学通报*, 2019, 35(17): 60-74.
MA Y J, MA X X, CHEN Q J, REN X L, HU H Y, JIANG W L, WANG D, DONG H L, MA Y. Environmental factors affect seed germination of goosegrass (*Eleusins indica*) in different regions. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(17): 60-74.
- [22] 荆庆芳, 朱林, 张杨, 程云龙, 聂豪杰, 李林傲. 宁夏无芒稗对光周期的响应与适应. *草业科学*, 2023, 40(11): 2849-2859.
JING Q F, ZHU L, ZHANG Y, CHENG Y L, NIE H J, LI L A. Responses and adaptation of *Echinochloa crusgalli* to photoperiod. *Pratacultural Science*, 2023, 40(11): 2849-2859.
- [23] 郑承梅, 孙金秋, 刘梦杰, 杨永杰, 陆永良, 郭怡卿, 唐伟. 水稻田糠稷种子萌发和出苗特性及化学防除药剂筛选. *中国水稻科学*, 2023, 37(3): 321-328.
ZHENG C M, SUN J Q, LIU M J, YANG Y J, LU Y L, GUO Y Q, TANG W. Seed germination, seedling emergence characteristics and response of *panicum bisulcatum* to pre-and post-emergence herbicides in paddy field. *Chinese Journal of Rice Science*, 2023, 37(3): 321-328.
- [24] 罗小娟, 吕波, 李俊, 董立尧. 鳢肠种子萌发及出苗条件的研究. *南京农业大学学报*, 2012, 35(2): 71-75.
LUO X J, LYU B, LI J, DONG L Y. Study on the environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of *Eclipta prostrata*. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2012, 35(2): 71-75.
- [25] MAHMOOD A H, FLORENTINE S K, CHAUHAN B S, MCLAREN D A, WRIGHT W. Influence of various environmental factors on seed germination and seedling emergence of a noxious environmental weed: Green galenia (*Galenia pubescens*). *Weed Science*, 2016, 64(3): 486-496.
- [26] 王晓阳, 于海燕, 杨娟, 崔海兰, 于惠林, 李香菊. 不同环境因素对节节麦萌发的影响. *植物保护*, 2019, 45(3): 196-200.
WANG X Y, YU H Y, YANG J, CUI H L, YU H L, LI X J. Effects of different environmental factors on seed germination of *Aegilops tauschii* coss. *Plant Protection*, 2019, 45(3): 196-200.
- [27] 潘炎. 虻子草种子萌发条件及防除药剂筛选研究. 扬州: 扬州大学硕士学位论文, 2018.
PAN Y. Studies on seed germination conditions of red sprangletop (*Leptochloa panicea* (Retz.) Ohwi) and screening of herbicides. Master Thesis. Yangzhou: Yangzhou University, 2018.
- [28] 徐伟东, 黎菊, 陆强, 王晔青. 浙江稻麦连作区水直播稻田杂草群落组成及多样性差异. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(1): 57-64.
YU W D, LI J, LU Q, WANG Y Q. Weed community composition and difference of diversity in wet direct-seedling paddy fields in rice-wheat rotation areas in northern Zhejiang. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37(1): 57-64.
- [29] 庄家文, 张峥, 强胜. 浙江省水稻田杂草群落调查. *植物保护学报*, 2019, 46(2): 479-488.
ZHUANG J W, ZHANG Z, QIANG S. Weed communities in rice fields in Zhejiang Province. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46(2): 479-488.
- [30] 夏志铭. 稻田碎米知风草竞争能力研究及其防除药剂筛选. 扬州: 扬州大学硕士学位论文, 2022.
XIA Z M. Studies on competitive ability of *Eragrostis japonica* in paddy field and herbicide screening for controlling *E. japonica*. Master Thesis. Yangzhou: Yangzhou University, 2022.
- [31] 谷承文, 张立磊, 范玉洁, 范良英, 戴魏真, 许孟桃, 毕亚玲. 安徽稻区马唐对噁唑啉草胺的抗性测定及防治药剂筛选. *安徽科技学院学报*, 2023, 37(4): 42-47.
GU C W, ZHANG L L, FAN Y J, FAN L Y, DAI W Z, XU M T, BI Y L. Resistance detection and control herbicides screening of *Digitaria sanguinalis* to metamifop in rice fields of Anhui Province. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2023, 37(4): 42-47.
- [32] 孙腾, 梅桂龙, 张建萍, 孙进军, 彭立存, 沈晓霞, 赵运, 段桂芳. 我国主要水稻产区稻田稗草对氰氟草酯和噁唑啉草胺的抗性初步测定. *世界农药*, 2023, 45(10): 50-56.
SUN T, MEI G L, ZHANG J P, SUN J J, PENG L C, SHEN X X, ZHAO Y, DUAN G F. Preliminary determination of the resistance of *Echinochloa* spp. to cyhalofop-butyl and metamifop in main paddy fields in China. *World Pesticide*, 2023, 45(10): 50-56.

(责任编辑 魏晓燕)