

顾琼楠,褚世海,黄启超,等. 湖北省稻田稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):105-113.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.015

# 湖北省稻田稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平

顾琼楠,褚世海,黄启超,李 林,陈安安,李儒海

(湖北省农业科学院植保土肥研究所/农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室/

农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室,湖北武汉 430064)

**摘要:**为了明确湖北省稻田稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平,在用五氟磺草胺田间最高推荐剂量对稗属杂草种群进行筛选后,对湖北省主要稻区 58 个稗属杂草田间种群进行整株生物测定。整株生物测定结果表明,各采集点的稗属杂草田间种群对五氟磺草胺均产生了不同程度的抗药性,其中敏感种群 19 个,占样本总数 32.76%,其致死中量( $ED_{50}$ )为  $0.274\ 7\sim0.827\ 8\text{ g a.i./hm}^2$ ;3 个种群(鄂州市汀祖镇凤凰村的 18-ETF 种群、黄石大冶市大箕铺镇小箕铺村的 18-HDDX 种群和黄冈武穴市龙坪镇胡胜村的 18-HWLH)对五氟磺草胺表现出极高水平的抗性,占供试种群总数的 5.17%,其  $EC_{50}$  分别为  $750.752\ 5$ 、 $153.134\ 4$ 、 $56.023\ 5\text{ g a.i./hm}^2$ ,与敏感种群相比,其抗性倍数分别达 2 668.87、544.38、199.16 倍。中等水平抗性种群有 13 个,占样本总数的 22.41%,抗性倍数为 10.23~86.65。低水平抗性种群有 23 个,占样本总数的 39.66%,抗性倍数为 3.06~9.94。在地理分布上,鄂东丘陵岗地双季稻区采集的稗草对五氟磺草胺的抗性水平较高,其次为江汉平原双季稻区采集的稗草,鄂中丘陵岗地单季稻区采集的稗草对五氟磺草胺的抗性水平相对较低。研究结果揭示了湖北省主要稻区稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平及抗性分布情况,为该地区合理应用五氟磺草胺防控稻田稗草提供理论依据与技术指导。

**关键词:**湖北;稻田;稗属杂草;五氟磺草胺;抗性监测

**中图分类号:**S451.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0105-09

稗属(*Echinochloa* spp.)杂草是禾本科一年生草本植物,是我国水稻田中主要的恶性杂草之一,发生严重时会导致水稻大面积减产<sup>[1-5]</sup>。目前,使用化学除草剂仍是防治稗草的主要手段。用于防治稗草的除草剂按作用类型可以分为如下几类:乙酰乳酸合酶抑制剂类类型的除草剂,如五氟磺草胺、双草醚等;乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂类除草剂,如氰氟草酯等;细胞分裂抑制剂类除草剂,如丁草胺、丙草胺等;光合系统 II 抑制剂类除草剂,如敌稗等;激素类除草剂,如二氯喹啉酸等<sup>[6]</sup>。近年来,水稻

田中杂草的抗药性问题愈发严峻,包括 5-烯醇式丙酮酸莽草酸-3-磷酸合成酶类、乙酰乳酸合酶抑制剂类、乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂类、光合系统 II 抑制剂类、合成激素类在内的 6 种作用机制的除草剂应用得最多,目前发现稗属杂草已对其中乙酰乳酸合酶抑制剂类除草剂、乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂类除草剂和激素类除草剂<sup>[7]</sup>等产生了较为严重的抗药性。

五氟磺草胺是一种乙酰乳酸合酶抑制剂类除草剂,被广泛应用于稻田杂草防治,该除草剂由美国陶氏益农公司研发,于 2008 年进入中国市场<sup>[8-9]</sup>。然而,近年来由于长期单一使用五氟磺草胺,导致多个地区的稗草对其产生了抗性。2023 年,谷承文等评估了安徽省不同地区稻田中 40 份稗草对五氟磺草胺的抗性水平及分布情况,其中抗性种群占总样本数的 50%,并且这些抗性种群对双草醚、二氯喹啉酸、氰氟草酯等药物产生了交互抗性<sup>[10-11]</sup>。2022 年,于晓玥等对宁夏地区 6 个稗原变种对五氟磺草胺的抗性水平进行了测定,结果表明,有 5 个疑似抗性种群对五氟磺草胺表现出不同

收稿日期:2023-06-12

基金项目:湖北省农业科学院植保土肥研究所青年基金(编号:2021ZTSQJ04);湖北省农业科学院青年基金(编号:2020NKYJJ09);湖北省农业科学院青年拔尖人才培养计划;湖北省农业科技创新中心项目(编号:2021-620-000-001-013)。

作者简介:顾琼楠(1987—),女,江苏常州人,博士,助理研究员,主要从事杂草生物防治及杂草抗药性研究。E-mail:qiongnan.gu@foxmail.com。

通信作者:李儒海,博士,研究员,主要从事农田杂草生物生态学及防控研究。E-mail:ruhaili73@163.com。

程度的抗药性<sup>[5]</sup>。2021 年,马国兰等对湖南、湖北、江西、安徽、江苏、宁夏和黑龙江等地稻田稗属杂草对五氟磺草胺的抗性水平进行了监测,发现多个对五氟磺草胺表现出中高抗性水平的稗草种群<sup>[10]</sup>。2020 年,郭文磊等评估了广东省水稻田中 9 个稗草种群对五氟磺草胺的抗性水平,发现 BC-7 种群对五氟磺草胺产生了抗性<sup>[11]</sup>。2020 年,王维静等测定了东北地区 4 个稻稗对五氟磺草胺的抗性水平,发现抗性种群对五氟磺草胺的抗药性是由 P450 活性增强导致的非靶标抗性造成的<sup>[12]</sup>。2018 年,武向文等对上海松江、奉贤、崇明、嘉定等地的稗草进行了抗性监测,发现了 1 个稗草种群对五氟磺草胺、氰氟草酯和二氯喹啉酸均产生了抗性<sup>[13]</sup>。2017 年,董立尧等监测了江苏、安徽、上海、黑龙江、宁夏、湖南、辽宁等地的 48 个水稻田稗种群,发现多个对五氟磺草胺及其他除草剂产生抗药性的稗草种群<sup>[14]</sup>。湖北是我国主要的水稻产区之一,该地区水

稻田的杂草防控主要依赖化学除草剂的使用,近年来在湖北多地均发现了五氟磺草胺的抗性种群<sup>[15-16]</sup>,持续对湖北省主要稻区的稗草对五氟磺草胺的抗性水平进行监测,有助于及早发现抗性群体,及时调整抗性杂草管理策略。

为了研究湖北稻区稗草对五氟磺草胺的抗性现状,本研究用室内整株生物测定法监测湖北省水稻主要产区的 58 个稻田稗草种群对五氟磺草胺的抗性,以期为五氟磺草胺在湖北稻田中对稗草的防控应用及稗草抗药性治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

稗草田间种群于 2018 年采自湖北省主要稻区 58 地的水稻田(表 1)。采取倒置“W”形九点取样法,采集成熟稗草种子,晾干后于 4℃ 种子低温低湿储存柜中保存。

表 1 稗草田间种群采集地点信息

种群	采集地点	地理位置	海拔 (m)
18-EPT	鄂州市蒲团乡塘口金村	30°24'31"N,114°44'42"E	7
18-ETF	鄂州市汀祖镇凤凰村	30°16'48"N,114°55'6"E	7
18-HDDX	黄石大冶市大箕铺镇小箕铺村	30°0'51"N,115°2'25"E	16
18-HDJW	黄石大冶市金湖街道办事处汪拳村	30°4'46"N,114°53'27"E	51
18-HYTW	黄石阳新县陶港镇王桥村	29°57'25"N,115°16'28"E	5
18-HHDD	黄冈黄梅县大河镇大河村	30°5'6"N,115°49'32"E	26
18-HQCB	黄冈蕲春县赤东镇白河村	30°12'21"N,115°24'56"E	4
18-HQCD	黄冈蕲春县漕河镇大路铺村	30°14'1"N,115°27'53"E	13
18-HHLL	黄冈黄州区路口镇李家寨村	30°27'47"N,114°59'20"E	10
18-HTX	黄冈黄州区陶店乡小汊湖村	30°32'20"N,114°56'2"E	15
18-HWLH	黄冈武穴市龙坪镇胡胜村	29°52'11"N,115°40'15"E	23
18-HWMJ	黄冈武穴市梅川镇金家湾	30°6'11"N,115°36'48"E	40
18-HWSW	黄冈武穴市石佛寺镇魏高邑村	29°54'39"N,115°37'44"E	23
18-HXDX	黄冈浠水县丁司当镇徐家湾	30°23'42"N,115°15'37"E	31
18-JGJJ	荆州市公安县夹竹园镇金猫口村	30°2'52"N,112°9'29"E	40
18-JGYF	荆州市公安县杨厂镇福利村	30°3'5"N,112°17'20"E	40
18-JHFW	荆州洪湖市峰口镇伍沟村	30°8'6"N,113°21'25"E	30
18-JHLB	荆州洪湖市老湾回族乡北河村	29°58'47"N,113°41'26"E	11
18-JJXJ	荆州江陵县熊河镇捷口村	30°4'17"N,112°26'11"E	30
18-JJPX	荆州江陵县普济镇熊沟村	29°59'23"N,112°32'34"E	14
18-JJWZ	荆州监利县汪桥镇赵家村	29°58'12"N,112°42'52"E	30
18-JJCY	荆州监利县程集镇姚集村	29°57'52"N,112°37'51"E	-12
18-JJZJ	荆州市监利县周老嘴镇揭家村	30°2'28"N,112°57'57"E	20
18-JSHW	荆州石首市横沟市镇挖口子村	29°54'16"N,112°33'45"E	40
18-JSRD	荆州石首市人民大垸镇大湾村	29°53'34"N,112°28'10"E	4

表 1(续)

种群	采集地点	地理位置	海拔 (m)
18-JJXY	荆门京山县新市镇杨树咀	31°2'20"N,113°4'59"E	46
18-JJSN	荆门京山县孙杨镇牛车河村	31°5'22"N,113°0'1"E	109
18-JSWQ	荆门沙洋市五里铺镇七房湾新村	30°43'54"N,112°13'40"E	35
18-JZDJ	荆门钟祥市东桥镇九堰村	31°10'7"N,112°51'28"E	112
18-JZWD	荆门钟祥市文集镇大庙社区	31°8'37"N,112°30'19"E	58
18-QXX	潜江市熊口镇新林村	30°19'31"N,112°44'49"E	30
18-QYZ	潜江市移民新村赵家垸队	30°22'41"N,112°41'38"E	30
18-QZW	潜江市张金镇五里碑村	30°14'16"N,112°38'23"E	30
18-STX	随州随县唐县镇肖畈村	31°58'13"N,113°6'33"E	119
18-SXQ	随州市淅河镇瞿家湾	31°37'22"N,113°31'18"E	35
18-SZXX	随州市曾都区淅河镇兴建村	31°39'16"N,113°30'51"E	70
18-TZW	天门市皂市镇文墩村	30°46'27"N,113°13'43"E	30
18-WJJ	武汉市江夏区金水试验农场	30°17'24"N,114°07'56"E	30
18-XCS	仙桃市陈场镇沙硬坝村	30°10'47"N,113°7'44"E	30
18-XZD	仙桃市张沟镇东升村	30°15'13"N,113°20'21"E	20
18-XHFW	孝感市汉川分水镇歪亭阁村	30°35'52"N,113°41'17"E	30
18-XHH	孝感市汉川开发区红一村	30°40'60"N,113°52'59"E	20
18-XMW	孝感市孝南区毛陈镇魏家坝堤	30°51'43"N,113°57'38"E	30
18-XXPP	孝感市孝南区朋兴乡朋兴店	31°0'51"N,113°56'21"E	40
18-XXQ	孝感市孝昌县小河镇庆丰村	31°18'53"N,114°2'2"E	50
18-XYCZ	孝感市云梦县城关镇赵许村	31°1'26"N,113°46'57"E	30
18-XYCT	孝感应城市城北街道陶中湾	30°55'37"N,113°20'43"E	40
18-XYDC	孝感市应城东马坊街道曹大村	30°54'41"N,113°43'15"E	30
18-XLS	襄阳龙王镇松坡村	32°11'55"N,111°58'38"E	65
18-XLY	襄州区龙王镇闫营村	32°13'54"N,111°58'43"E	72
18-XXN	襄阳市襄州区农业科技示范园	32°7'49"N,112°20'35"E	91
18-XYXM	襄阳宜城市小河镇明正村	31°45'49"N,112°11'24"E	70
18-XYXS	襄阳宜城市小河镇石灰村	31°42'0"N,112°9'38"E	70
18-XYZC	襄阳宜城市郑集镇楚都新村	31°39'0"N,112°16'22"E	74
18-XZHS	襄阳枣阳市环城办事处双庙村	32°10'27"N,112°44'55"E	142
18-XZJW	襄阳枣阳市琚湾镇王家湾村	32°6'1"N,112°41'47"E	103
18-XZXS	襄阳枣阳市兴隆镇随阳村	32°2'15"N,112°58'18"E	159
18-JSZ	荆门沙洋县曾集镇张池村	30°43'3" N,112°18'3" E	90

供试药剂为 25 g/L 五氟磺草胺乳油,购自科迪华农业科技有限责任公司。试验仪器为 3WP-2000 型行走式喷雾塔,由农业农村部南京农业机械化研究所提供。

## 1.2 试验方法

1.2.1 单剂量筛选抗药性 2019 年 6—8 月于湖北省农业科学院植保土肥研究所温室进行稗草种子的单剂量筛选抗药性试验。将供试稗草种子用 100 mg/L 赤霉酸溶液于 28 ℃ 光照培养箱中催芽

24 h 后,分别种植于大小为 11 cm×11 cm 的塑料方盆中,种植深度为 1 cm,放置于温室内,光—暗周期为 12 h—12 h,昼—夜培养温度为 28 ℃—25 ℃,相对湿度为 60%。出苗后每盆保留 20 株生长一致的植株,待其长到 3 叶 1 心期时,按田间推荐最高剂量 32 g a. i./hm<sup>2</sup> 喷施 25 g/L 五氟磺草胺,每个种群重复 3 次,并设清水对照,21 d 后统计每盆存活植株数,计算存活率。存活率 = 稗草存活株数(株)/总株数(株)×100%,根据存活率确定疑似抗药性

种群。

1.2.2 剂量反应曲线的测定 2022 年 6—8 月于湖北省农业科学院植保土肥研究所温室进行稗草种子的剂量反应曲线测定。参照《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》,供试稗草种子经上述处理培养后,每盆保留 15 株长势一致的植株,在稗草 3 叶 1 心期对高抗性稗草种群茎叶喷施五氟磺草胺,喷施浓度为 64、128、256、512、1 024 g a. i. /hm<sup>2</sup>,对中抗及低抗稗草喷施 8、16、32、64、128 g a. i. /hm<sup>2</sup> 5 个浓度梯度的五氟磺草胺,敏感稗草种群茎叶喷施的五氟磺草胺浓度梯度为 1、2、4、8、16 g a. i. /hm<sup>2</sup>,并设清水作对照,每个处理设 3 次重复,施药 21 d 后剪取每盆稗草地上部分,测定鲜质量。

1.2.3 湖北省稻田稗草对五氟磺草胺的抗性分布 根据湖北省不同地区的地形地貌特点与气候环境等方面的差异性,按照 Wang 等的方法<sup>[17]</sup>,将湖北省水稻种植区划分为鄂西北山地、鄂西南山地、鄂中丘陵岗地、江汉平原、鄂东北低山丘陵、鄂东丘陵岗地、鄂东南低山丘陵 7 个区域。根据不同采集地区稗草种群相对抗性指数的高低来明确湖北省水稻田稗草种群对五氟磺草胺的抗性分布情况。

### 1.3 数据分析

鲜质量抑制率 (fresh weight inhibition rate, FWIR) 的计算公式:

$$FWIR = [( \text{对照平均鲜质量} - \text{处理平均鲜质量} ) / \text{对照平均鲜质量}] \times 100\%$$

所有数据经处理后,用 SigmaPlot 14.0 软件 Log - Logistic 模型的非线性回归方程  $y = C + \{ (D - C) / [1 + (x/EC_{50})^b] \}$  进行计算。式中: $x$  为除草剂剂量; $y$  为药剂处理稗草鲜质量抑制率; $b$  为斜率; $C$  为剂量反应下限; $D$  为剂量反应上限; $EC_{50}$  为抑制中浓度。抗性倍数 (RI) = 抗性种群的  $EC_{50}$  / 敏感种群的  $EC_{50}$ 。抗性水平分级标准参照 NY/T 2728—2015《稻田稗属杂草抗药性监测技术规程》。判断标准如下: $RI \leq 3$ ,敏感; $3 < RI \leq 10$ ,低抗; $10 < RI \leq 100$ ,中抗; $RI > 100$ ,高抗。

## 2 结果与分析

### 2.1 五氟磺草胺单剂量筛选结果

稗草田间种群对五氟磺草胺的敏感性结果如表 2 所示。在测定的 58 个稗草田间种群中,鄂州市汀祖镇凤凰村的 18 - ETF、黄石大冶市大箕铺镇小

箕铺村的 18 - HDDX、黄石大冶市金湖街道办事处汪拳村的 18 - HDJW、黄石阳新县陶港镇王桥村的 18 - HYTW、黄冈蕲春县漕河镇大路铺村的 18 - HQCD、黄冈武穴市龙坪镇胡胜的 18 - HWLH、黄冈武穴市梅川镇金家湾的 18 - HWMJ、荆州江陵县普济镇熊沟村的 18 - JJPX、荆州监利县程集镇姚集村的 18 - JJCY、潜江市张金镇五里碑村的 18 - QZW、武汉市江夏区金水试验农场的 18 - WJJ、天门市皂市镇文墩村 18 - TZW、孝感市应城东马坊街道曹大村的 18 - XYDC、襄阳宜城市小河镇石灰村的 18 - XYXS 等 14 个种群的存活率大于 25%,对五氟磺草胺存在抗性风险。

### 2.2 不同稗草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平

采用整株生物测定法测定五氟磺草胺对 58 个稗草种群的  $EC_{50}$ ,并计算抗性倍数。结果(表 3)表明,从湖北省各地采集的稗草田间种群对五氟磺草胺均产生了不同程度的抗性,其中鄂州市汀祖镇凤凰村的 18 - ETF、黄石大冶市大箕铺镇小箕铺村的 18 - HDDX 和黄冈武穴市龙坪镇胡胜村的 18 - HWLH 3 个稗草种群对五氟磺草胺表现出极高水平的抗性,其抗性倍数分别达 2 668. 87、544. 38、199. 16 倍;黄石大冶市金湖街道办事处汪拳村的 18 - HDJW、黄石阳新县陶港镇王桥村的 18 - HYTW、黄冈黄梅县大河镇大河村的 18 - HDDD、黄冈武穴市梅川镇金家湾的 18 - HWMJ、荆州江陵县熊河镇捷口村的 18 - JJXJ、荆州江陵县普济镇熊沟村的 18 - JJPX、荆州监利县汪桥镇赵家村的 18 - JJWZ、荆州监利县程集镇姚集村的 18 - JJCY、荆门钟祥市文集镇大庙社区的 18 - JZWD、潜江市张金镇五里碑村的 18 - QZW、武汉市江夏区金水试验农场的 18 - WJJ、孝感市云梦县城关镇赵许村的 18 - XYCZ、襄阳宜城市小河镇石灰村的 18 - XYXS 等 13 个稗草种群对五氟磺草胺表现出中等水平抗性,其抗性倍数为 10. 23 ~ 86. 65;有 23 个为低水平抗性种群,分别为鄂州市蒲团乡塘口金村的 18 - EPT、黄冈蕲春县赤东镇白河村的 18 - HQCB、黄冈蕲春县漕河镇大路铺村的 18 - HQCD、黄冈黄州区陶店乡小汊湖村的 18 - HTX、黄冈武穴市石佛寺镇魏高邑村的 18 - HWSW、荆州市公安县夹竹园镇金猫口村的 18 - JGJJ、荆州市公安县杨厂镇福利村的 18 - JGYF、荆州洪湖市峰口镇伍沟村的 18 - JHFW、荆州洪湖市老湾回族乡北河村的 18 - JHLB、荆门京山县孙杨镇牛车河村的 18 - JJSN、潜江市熊口镇新林村的 18 -

表 2 稗草田间种群对五氟磺草胺抗性的初步筛选结果

种群	存活率 (%)	种群	存活率 (%)	种群	存活率 (%)
18 - EPT	0.00 ± 0.00	18 - JJWZ	8.33 ± 6.24	18 - XZD	0.00 ± 0.00
18 - ETF	95.00 ± 4.08	18 - JJC Y	41.67 ± 23.92	18 - XFW	0.00 ± 0.00
18 - HDDX	61.67 ± 15.46	18 - JJZJ	0.00 ± 0.00	18 - XHH	15.00 ± 10.80
18 - HDJW	41.67 ± 27.18	18 - JSHW	0.00 ± 0.00	18 - XMW	0.00 ± 0.00
18 - HYTW	90.00 ± 4.08	18 - JSRD	8.33 ± 11.79	18 - XXPP	15.00 ± 4.08
18 - HHDD	3.33 ± 2.36	18 - JJXY	0.00 ± 0.00	18 - XXQ	3.33 ± 4.71
18 - HHLL	0.00 ± 0.00	18 - JJSN	0.00 ± 0.00	18 - XYCZ	25.00 ± 8.16
18 - HQCB	0.00 ± 0.00	18 - JSWQ	0.00 ± 0.00	18 - XYDC	28.33 ± 16.50
18 - HQCD	43.33 ± 33.25	18 - JSZ	0.00 ± 0.00	18 - XLS	0.00 ± 0.00
18 - HTX	0.00 ± 0.00	18 - JZDJ	0.00 ± 0.00	18 - XLY	6.67 ± 6.24
18 - HWLH	33.33 ± 2.36	18 - JZWD	20.00 ± 18.71	18 - XXN	0.00 ± 0.00
18 - HWMJ	100.00 ± 0.00	18 - QXX	0.00 ± 0.00	18 - XYCT	0.00 ± 0.00
18 - HWSW	5.00 ± 4.08	18 - QYZ	0.00 ± 0.00	18 - YXXM	0.00 ± 0.00
18 - HXDX	0.00 ± 0.00	18 - QZW	78.33 ± 6.24	18 - XYXS	26.67 ± 20.14
18 - JGJJ	1.67 ± 2.36	18 - STX	0.00 ± 0.00	18 - XYZC	0.00 ± 0.00
18 - JGYF	0.00 ± 0.00	18 - SXQ	0.00 ± 0.00	18 - XZHS	0.00 ± 0.00
18 - JHFW	0.00 ± 0.00	18 - SZXX	0.00 ± 0.00	18 - XZJW	0.00 ± 0.00
18 - JHLB	16.67 ± 2.36	18 - TZW	31.67 ± 27.18	18 - XZXS	0.00 ± 0.00
18 - JJXJ	5.00 ± 4.08	18 - WJJ	88.33 ± 8.50		
18 - JJPX	55.00 ± 20.41	18 - XCS	0.00 ± 0.00		

QXX、潜江市移民新村赵家垸队的 18 - QYZ、随州随县唐集镇肖畈村的 18 - STX、仙桃市张沟镇东升村的 18 - XZD、孝感市汉川开发区红一村的 18 - XHH、孝感市孝南区毛陈镇魏家坝堤的 18 - XMW、孝感市孝南区朋兴乡朋兴店的 18 - XXPP、孝感市孝昌县小河镇庆丰村的 18 - XXQ、孝感应城市城北街道陶中湾的 18 - XYCT、孝感市应城东马坊街道曹大村的 18 - XYDC、襄州龙王镇松坡村的 18 -

XLS、襄阳市襄州区农业科技示范园的 18 - XXN、襄阳枣阳市环城办事处双庙村的 18 - XZHS,抗性倍数为 3.06 ~ 9.94;其他 19 个稗草田间种群对五氟磺草胺比较敏感,抗性倍数为 0.98 ~ 2.94。在所监测的湖北省水稻主产区的 58 个稗草田间种群中,高水平抗性种群占总采样数的 5.17%,中等水平抗性种群占 22.41%,低水平抗性种群占 39.66%,敏感种群占 32.76%。

表 3 稗草田间种群对五氟磺草胺抗性的初步筛选结果

种群	回归方程参数			相关系数	EC <sub>50</sub> [g a.i./hm <sup>2</sup> ]	抗性倍数
	C	D	b			
18 - EPT	11.893 9	99.997 5	2.656 8	0.990 7	1.419 9	5.05
18 - ETF	-23.849 8	98.045 6	0.927 8	0.983 9	750.752 5	2 668.87
18 - HDDX	-8.576 5	100.577 1	1.392 7	0.997 1	153.134 4	544.38
18 - HDJW	5.453 2	99.372 6	1.730 5	0.985 6	3.250 2	11.55
18 - HYTW	8.381 6	99.989 0	1.137 4	0.996 8	8.961 4	31.86
18 - HHDD	1.856 5	99.981 0	1.883 5	0.998 8	6.907 6	24.56
18 - HQCB	-2.480 6	100.201 2	1.399 3	0.989 9	1.306 1	4.64
18 - HQCD	1.462 9	100.008 8	2.904 7	0.998 8	0.955 6	3.40
18 - HHLL	-3.796 2	99.951 8	1.006 7	0.995 8	0.667 4	2.37
18 - HTX	8.741 9	98.969 9	2.125 8	0.997 9	2.796 0	9.94
18 - HWLH	12.232 1	99.380 2	1.152 6	0.991 2	56.023 5	199.16
18 - HWMJ	19.331 3	99.820 2	1.414 7	0.992 0	24.375 8	86.65

表 3(续)

种群	回归方程参数			相关系数	EC <sub>50</sub> [g a. i./hm <sup>2</sup> ]	抗性倍数
	C	D	b			
18 - HWSW	-5.350 6	99.712 0	1.354 0	0.983 3	1.711 0	6.08
18 - HXDX	1.162 0	100.008 6	1.562 0	0.998 2	0.529 8	1.88
18 - JGJJ	1.835 8	100.845 9	2.561 3	0.997 3	1.690 7	6.01
18 - JGYF	0.980 1	100.017 6	1.827 0	0.996 7	0.859 9	3.06
18 - JHFW	-3.201 3	99.993 6	1.398 8	0.997 2	1.127 0	4.01
18 - JHLB	-9.576 2	99.945 9	1.026 1	0.994 8	1.279 3	4.55
18 - JJXJ	4.140 1	99.200 3	2.358 0	0.998 2	2.877 6	10.23
18 - JJPX	5.094 5	100.202 6	1.119 9	0.992 9	10.724 0	38.12
18 - JJWZ	6.777 9	100.166 5	1.773 4	0.989 0	4.859 6	17.28
18 - JJC Y	-3.467 9	101.355 4	1.623 8	0.991 9	9.482 3	33.71
18 - JJZJ	-0.818 9	99.999 0	1.322 6	0.999 8	0.349 0	1.24
18 - JSHW	-0.221 6	100.012 4	1.674 5	0.997 4	0.659 7	2.35
18 - JSRD	-6.274 2	99.878 0	1.071 3	0.992 2	0.793 3	2.82
18 - JJXY	-0.231 8	99.996 8	1.044 2	0.997 9	0.346 4	1.23
18 - JJSN	-3.165 8	99.809 1	1.221 1	0.992 6	1.007 3	3.58
18 - JSWQ	2.305 4	100.001 3	1.639 6	0.998 1	0.592 7	2.11
18 - JZDJ	-1.766 0	99.986 5	1.276 9	0.995 6	0.514 8	1.83
18 - JZWD	0.733 7	100.036 7	1.769 4	0.998 1	4.071 4	14.47
18 - QXX	-13.519 6	99.528 0	1.028 2	0.986 7	2.726 0	9.69
18 - QYZ	-5.600 6	99.931 4	1.099 9	0.998 1	0.867 6	3.08
18 - QZW	-1.027 8	100.630 0	2.126 6	0.997 7	11.133 8	39.58
18 - STX	0.209 0	99.978 5	-2.098 3	0.998 2	1.073 8	3.82
18 - SXQ	-1.900 8	100.010 7	1.266 8	0.995 9	0.672 6	2.39
18 - SZXX	0.472 7	100.065 8	1.405 7	0.996 5	0.805 2	2.86
18 - TZW	0.878 6	100.010 4	2.000 1	0.998 5	0.694 3	2.47
18 - WJJ	-2.318 0	99.959 9	1.090 2	0.998 2	15.506 1	55.12
18 - XCS	-0.050 2	99.999 9	1.825 6	0.999 5	0.593 3	2.11
18 - XZD	0.701 9	99.920 2	1.820 6	0.998 1	1.077 3	3.83
18 - XHFW	1.503 2	100.002 9	2.246 1	0.961 9	0.716 6	2.55
18 - XHH	-1.947 5	100.573 4	1.732 7	0.993 8	1.722 7	6.12
18 - XMW	0.569 5	99.867 4	1.794 1	0.996 3	1.280 7	4.55
18 - XXPP	-1.449 5	99.843 3	1.585 3	0.993 9	2.370 5	8.43
18 - XXQ	0.304 8	100.015 3	3.105 8	0.998 6	1.793 4	6.38
18 - XYCZ	6.745 8	100.182 0	2.389 9	0.998 3	5.235 2	18.61
18 - XYCT	-4.770 7	99.951 3	1.016 7	0.982 1	0.919 8	3.27
18 - XYDC	2.943 7	100.597 8	1.708 4	0.994 3	1.907 6	6.78
18 - XLS	5.709 3	100.294 2	2.017 0	0.988 2	1.139 1	4.05
18 - XLY	1.151 3	99.997 2	1.704 0	0.996 4	0.613 6	2.18
18 - XXN	-5.554 8	99.768 9	1.317 9	0.996 3	1.336 2	4.75
18 - XYXM	-1.288 9	99.995 1	1.371 4	0.999 5	0.571 4	2.03
18 - XYXS	0.413 7	100.003 1	1.750 2	0.999 2	3.517 5	12.50
18 - XYZC	4.339 4	100.013 5	2.133 9	0.998 7	0.782 4	2.78
18 - XZHS	-1.676 9	99.141 5	2.446 4	0.997 0	1.716 5	6.10
18 - XZJW	-0.843 9	99.999 1	1.026 1	0.998 7	0.274 7	0.98
18 - XZXS	-1.099 2	100.004 3	1.515 1	0.997 1	0.827 8	2.94
18 - JSZ	-0.193 8	100.000 2	1.473 8	0.999 6	0.281 3	1.00

### 2.3 五氟磺草胺处理后稗草的受害症状

图 1 为抗性稗草种群 18-JJPX、敏感稗草种群 18-SZXX 在施药后 21 d 对五氟磺草胺的受害症状反应。不同地区的稗草种群对五氟磺草胺的反应存在差异,对于敏感种群,如种群 18-SZXX,喷施五氟磺草胺 5 d 后生长点褪色,老叶发黄,从叶尖开始向下逐渐黄化,10 d 后茎间、叶芽开始枯萎坏死,21 d 后整株枯死;部分中抗种群喷施五氟磺草胺

5~7 d 后植株生长受抑制,如种群 18-JJPX,叶片出现褪绿,心叶蜷曲畸形,21 d 后叶片颜色逐渐变深,植株矮化,但后期依然能够继续生长;对抗性种群喷施五氟磺草胺 5~7 d 后,植株生长基本不受抑制,如高抗稗草种群 18-ETF,当五氟磺草胺的供试剂量达到  $128 \text{ g a. i. /hm}^2$  时,才可明显抑制稗草生长。



图1 施用不同浓度五氟磺草胺的稗草受害症状

### 2.4 湖北省抗五氟磺草胺稗草种群的分布

湖北省不同地区稻田稗草种群对五氟磺草胺的抗性分布情况如图 2 所示。由表 4 可以看出,在鄂东丘陵岗地双季稻区的稗草种群对五氟磺草胺的抗性水平较高,17 个采样点中,有 2 个敏感种群,占鄂东丘陵岗地稗草种群采样总数的 11.8%,有 3 个高抗种群,占 17.6%,有 4 个中抗种群,占 23.5%,有 8 个低抗种群,占 47.1%;其次为江汉平原双季稻区,23 个采样点中,有 6 个敏感种群,占 26.1%,有 7 个中抗种群,占 30.4%,有 10 个低抗种群,占 43.5%;鄂中丘陵岗地单季稻区的稗草种群对五氟磺草胺的抗性水平相对较低,18 个采样点中,有 11 个敏感种群,占 61.1%,有 2 个中抗种群,占 11.1%,有 5 个低抗种群,占 27.8%。鄂西北山地、鄂西南山地、鄂东北低山丘陵、鄂东南低山丘陵因未设采样点,因此未监测到抗性稗草分布。

## 3 结论与讨论

乙酰乳酸合酶(ALS)是 3 种必需支链氨基酸(亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸)生物合成途径中的首要酶<sup>[18]</sup>,参与植物、微生物和真菌中关键氨基酸合成途径,该酶是多种商业除草剂的作用靶标<sup>[19]</sup>。由

于 ALS 抑制剂类除草剂活性高、杀草谱广、选择性强,因此被广泛用于农田杂草的防治<sup>[20]</sup>,但是由于其作用位点单一,且常年连续的除草剂压力等原因,杂草很容易对其产生抗药性<sup>[21]</sup>。我国水稻产区的稗属杂草种群对五氟磺草胺已经产生不同程度的抗药性。Feng 等在湖北、湖南两地发现了 2 个对五氟磺草胺产生抗性的稗草种群,其抗性指数分别达 17.3 倍<sup>[22]</sup>。Fang 等测定了江苏稗草对五氟磺草胺等的抗药性水平,发现 AXXZ-2、JNRG-2 种群的相对抗性指数分别高达 33.33、7.30 倍<sup>[23]</sup>。王晓琳等采用室内整株生物测定法检测了五氟磺草胺对不同稗草种群的生物活性,发现湖北省武汉市的稗草种群的  $ED_{90}$  值高达  $201.679 \text{ g a. i. /hm}^2$ <sup>[24]</sup>。Chen 等对我国不同水稻产区的 52 个稗草种群对五氟磺草胺的敏感性进行了测定,在供试的 48 个种群中,有 5 个种群对五氟磺草胺产生了极高的抗性水平,其抗性指数为 101~218 倍<sup>[25]</sup>。Yang 等对宁夏地区的稗草种群进行研究,发现其中 4 个抗氟磺草酯的稗草种群对五氟磺草胺也表现出抗性<sup>[26]</sup>。李已夫等研究了湖南地区水稻田稗草的抗性水平,发现其抗性指数为 127.89~300.87<sup>[27]</sup>。

本研究通过整株茎叶喷雾法测定了湖北省稻



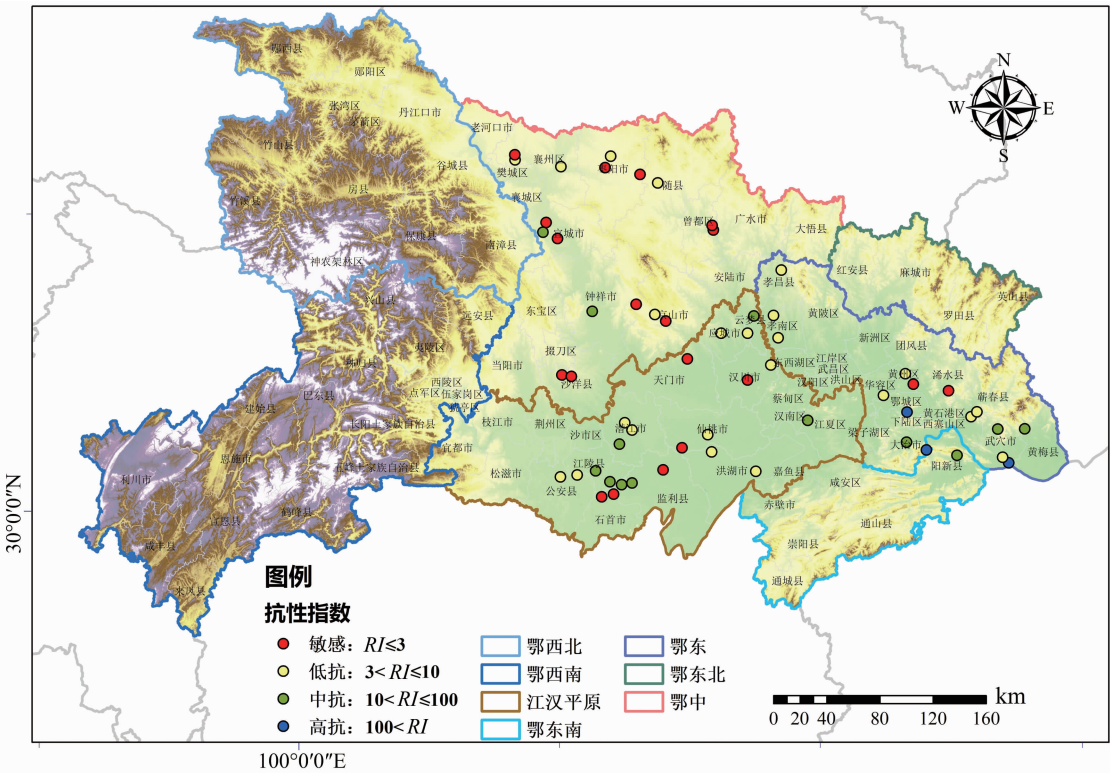


图2 湖北省抗五氟磺草胺稗草种群的分布

表 4 不同分布区域稗草田间种群对五氟磺草胺的抗性分布及占比

区域	种群数量(个)			
	高抗(占比)	中抗(占比)	低抗(占比)	敏感(占比)
鄂东丘陵	3(17.6%)	4(23.5%)	8(47.1%)	2(11.8%)
江汉平原		7(30.4%)	10(43.5%)	6(26.1%)
鄂中丘陵		2(11.1%)	5(27.8%)	11(61.1%)

田 58 个稗草田间种群对五氟磺草胺的敏感性,发现湖北地区稻田稗草对五氟磺草胺产生了不同程度的抗药性,其中采自鄂州市汀祖镇凤凰村的 18 - ETF、黄石大冶市大箕铺镇小箕铺村的 18 - HDDX 和黄冈武穴市龙坪镇胡胜的 18 - HWLH 种群对五氟磺草胺表现出极高水平的抗性,抗性指数分别高达 2 668.87、544.38、199.16 倍。在采集的 58 个稗属种群样本中,对五氟磺草胺产生中、高水平抗性的种群有 16 个,占被测样本总数的 27.6%;产生低水平抗性的种群有 23 个,占被测样品总数的 39.7%。本研究结果表明,湖北省主要水稻产区的稻田稗草种群对五氟磺草胺产生了广泛的抗性,这一现象与前述报道基本一致,并且与目前湖北省水稻产区仍将五氟磺草胺作为首选的稗草防控药剂的情况相符,与生产中稗草的防除越来越困难的现状相一致。因此,建议在抗性发展严重的地区停止

使用五氟磺草胺,施用不同作用类型的除草剂以延缓稗草抗性的发展。

不同采集点的稗草种群在抗性水平上呈现明显差异,这种差异可能由杂草种群的遗传变异、抗性选择压力、迁移和扩散及湖北省不同稻区的地形地貌特征、水稻种植方式、用药历史等因素引起。从采集样本的抗性分布区域来看,在鄂东丘陵岗地双季稻区,水稻为当地主要栽培作物,稻田杂草危害严重,农户长期大量使用除草剂防治杂草造成杂草抗药性水平逐年增加,因此这些区域内的稗草抗性水平普遍较高。其次为江汉平原双季稻区。鄂中丘陵岗地单季稻区的水稻种植面积相对于江汉平原及鄂东丘陵岗地而言较小,这可能是导致稗草抗性水平较低的原因之一。不同稻区稗草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平差异显著,这可能与不同地理区域的施药历史有关,同时也可能由于五氟



磺草胺与其他除草剂存在交互抗性<sup>[28]</sup>。此外,同一地区不同采集点的稗草种群对五氟磺草胺抗性水平表现出差异性,可能与当地除草剂的施用剂量、用药历史等有关。

本研究初步明确了湖北稻区稗草田间种群对五氟磺草胺的抗性分布现状,但与其他稻田常用除草剂是否存在多抗性、交互抗性及其抗性机制仍需更深入的研究。同时针对当前湖北稻区稗草对五氟磺草胺的抗性现状,加强五氟磺草胺的用药管理,建议在高水平抗性区域停止使用五氟磺草胺,中、低水平抗性区域轮换使用不同作用类型的除草剂,以减少对特定类别除草剂的选择压力,延缓稗草抗性发展。采取综合管理措施,从耕作栽培方式、物理除草、生态除草等多方面入手采取多种综合防治手段来抑制稻田杂草生长。综合管理能够降低杂草对单一除草剂的依赖,减少抗性个体发展。此外,通过定期对湖北省稻区稗草田间种群进行定期抗药性水平监测,了解抗性水平的变化情况,有助于及早发现抗性群体,及时调整抗性杂草管理策略。

#### 参考文献:

- [1] Rao A N. *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus - galli* [M]// Biology and management of problematic crop weed species. San Diego: Academic Press, 2021: 197 - 239.
- [2] 李扬汉. 中国杂草志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1214 - 1221.
- [3] 杨小育. 世界性恶性杂草的分布与危害 [J]. 世界农业, 1992 (4): 40 - 42.
- [4] 陈国奇, 唐伟, 李俊, 等. 我国水稻田稗属杂草种类分布特点: 以 9 个省级行政区 73 个样点调查数据为例 [J]. 中国水稻科学, 2019, 33 (4): 368 - 376.
- [5] 宋英, 张自常, 顾俊荣, 等. 稗草出苗时间和密度对机直播水稻产量的影响 [J]. 杂草学报, 2021, 39 (3): 67 - 73.
- [6] 于晓明, 马洪文, 杨永杰, 等. 宁夏地区稗草种群对五氟磺草胺的抗性机制研究 [J]. 植物保护, 2022, 48 (4): 196 - 202.
- [7] Damalas C A, Koutroubas S D. Herbicide - resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus - galli*) in global rice production [J]. Weed Biology and Management, 2023, 23 (1): 23 - 33.
- [8] 顾林玲. 三唑并嘧啶磺酰胺类除草剂: 五氟磺草胺 [J]. 现代农药, 2015, 14 (2): 46 - 51.
- [9] 刘兴林, 孙涛, 付声姣, 等. 水稻田除草剂的应用及杂草抗药性现状 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2015, 43 (7): 115 - 126.
- [10] 谷承文, 赵媛媛, 杜凤阳, 等. 安徽省稻田稗草对五氟磺草胺的抗性测定 [J]. 江汉大学学报 (自然科学版), 2023, 51 (2): 51 - 60.
- [11] 张昊, 张勇, 潘月敏, 等. 安徽省部分稻区稗草抗药性初探 [J]. 杂草学报, 2021, 39 (3): 44 - 50.
- [12] 马国兰, 刘都才, 张帅, 等. 稻田稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性监测 [J]. 农药学报, 2021, 23 (5): 905 - 914.
- [13] 郭文磊, 冯莉, 张纯, 等. 广东省水稻田稗对五氟磺草胺的抗性分析 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (5): 1131 - 1138.
- [14] 王维静, 杜颖, 纪明山, 等. 东北地区稻稗对五氟磺草胺的抗药性机制 [J]. 农药, 2020, 59 (6): 464 - 468.
- [15] 武向文, 李平生, 郭玉人. 上海稻田稗草对 3 种除草剂的抗药性 [J]. 世界农药, 2018, 40 (4): 59 - 62.
- [16] 董立尧, 陈国奇, 王琼, 等. 我国水稻田稗对五氟磺草胺的抗药性 [C]//第十三届全国杂草科学大会论文摘要集. 中国植物保护学会杂草学分会, 2017: 37.
- [17] 黄启超, 顾琼楠, 褚世海, 等. 稗 18 - WJJ - Ec 种群对五氟磺草胺的靶标抗性机制 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (19): 104 - 110.
- [18] 李飞乐. 水稻田稗草对五氟磺草胺的抗药性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019: 19 - 20.
- [19] Wang W N, Lu J W, Ren T, et al. Evaluating regional mean optimal nitrogen rates in combination with indigenous nitrogen supply for rice production [J]. Field Crops Research, 2012, 137: 37 - 48.
- [20] Duggleby R G, McCourt J A, Guddat L W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2008, 46 (3): 309 - 324.
- [21] Yu Q, Powles S B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding [J]. Pest Management Science, 2014, 70 (9): 1340 - 1350.
- [22] Peterson M A, Collavo A, Ovejero R, et al. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary [J]. Pest Management Science, 2018, 74 (10): 2246 - 2259.
- [23] Heap I. Global perspective of herbicide - resistant weeds [J]. Pest Management Science, 2014, 70 (9): 1306 - 1315.
- [24] Feng T Q, Peng Q, Wang L, et al. Multiple resistance mechanisms to penoxsulam in *Echinochloa crus - galli* from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2022, 187: 105211.
- [25] Fang J P, Liu T T, Zhang Y H, et al. Target site - based penoxsulam resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus - galli*) from China [J]. Weed Science, 2019, 67 (3): 281 - 287.
- [26] 王晓琳, 牛利川, 蒋翊宸, 等. 不同稗草种群对五氟磺草胺的敏感性差异 [J]. 杂草学报, 2017, 35 (1): 8 - 14.
- [27] Chen G Q, Wang Q, Yao Z W, et al. Penoxsulam - resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus - galli*) in rice fields in China [J]. Weed Biology and Management, 2016, 16 (1): 16 - 23.
- [28] Yang Q, Yang X, Zhang Z, et al. Investigating the resistance levels and mechanisms to penoxsulam and cyhalofop - butyl in barnyardgrass (*Echinochloa crus - galli*) from Ningxia Province, China [J]. Weed Science, 2021, 69 (4): 422 - 429.
- [29] 李巴夫. 湖南省水稻田稗草对五氟磺草胺的抗性及其机理研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015: 28 - 30.
- [30] Iwakami S, Uchino A, Watanabe H, et al. Isolation and expression of genes for acetolactate synthase and acetyl - CoA carboxylase in *Echinochloa phyllopogon*, a polyploid weed species [J]. Pest Management Science, 2012, 68 (7): 1098 - 1106.