

◆ 专论:除草剂(特约稿)◆

# 稻田稗草种群对氰氟草酯的抗性水平和抗性机理初探

张思思,刘敏,方宇航,齐家乐,潘浪\*

(湖南农业大学植物保护学院,长沙 410128)

**摘要:**为明确来自湖南和江西省稻田稗草种群对氰氟草酯的抗性水平和抗性机理,采用整株生物测定法、基因测序、代谢酶抑制剂联用试验进行了研究。结果显示:R1、R2、R3种群对氰氟草酯的抗性指数分别为3.08、2.19、3.83,均为中抗水平;R4种群抗性指数为1.45,为低抗水平。与敏感种群相比,R1种群存在Ile-2041-Val突变,R2种群中存在Ile-2041-Val、Asp-2078-Gly突变,且细胞色素P450酶抑制剂马拉硫磷和谷胱甘肽硫转移酶抑制剂NBD-Cl均能提高R1和R2种群对氰氟草酯的敏感性;R3种群中存在Trp-2027-Arg突变,且NBD-Cl可以提高其对氰氟草酯的敏感性;R4种群中存在Cys-2088-Tyr突变,马拉硫磷和NBD-Cl不能逆转其对氰氟草酯的抗性。研究表明,稗草种群R1、R2、R3对氰氟草酯的中等水平抗性是由靶标抗性和非靶标抗性共同介导,种群R4对氰氟草酯的低水平抗性主要是由靶标抗性介导。

**关键词:**氰氟草酯;抗性水平;抗性机理;稗草;CYP450;GST

中图分类号:TQ 450.1<sup>+3</sup> 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2024.03.004

## A preliminary study on the resistance level and resistance mechanism to cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* populations in rice field

ZHANG Sisi, LIU Min, FANG Yuhang, QI Jiale, PAN Lang\*

(College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to clarify the resistance level and resistance mechanism to cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* populations from Hunan and Jiangxi paddy fields, the experimental studies were carried out by whole-plant bioassay, gene sequencing, and metabolic enzyme inhibitor coupled with cyhalofop-butyl. The results showed that R1, R2 and R3 populations displayed medium level resistance to cyhalofop-butyl, with the resistance indexs of 3.08, 2.19 and 3.83, respectively. R4 population displayed low level resistance to cyhalofop-butyl, with the resistance index of 1.45. The Ile-2041-Val mutation was present in R1, and the Ile-2041-Val and Asp-2078-Gly mutations were present in R2, and malathion, NBD-Cl increased the sensibilities of R1 and R2 to cyhalofop-butyl. The Trp-2027-Arg mutation was present in R3 and NBD-Cl could increase the sensitivity to cyhalofop-butyl. The Cys-2088-Tyr mutation was present in R4, malathion and NBD-Cl couldn't reverse the resistance to cyhalofop-butyl. This study indicated that the medium level resistance of R1, R2, and R3 to cyhalofop-butyl was caused by a combination of target-site and non-target-site resistance, the low level resistance of R4 to cyhalofop-butyl was mainly mediated by target-site resistance.

**Key words:** cyhalofop-butyl; resistance level; resistance mechanism; *Echinochloa crus-galli*; CYP450; GST

收稿日期:2024-03-21

作者简介:张思思(2000—),女,湖南宁乡人,硕士,主要从事杂草抗药性研究。E-mail:2438324361@qq.com

通信作者:潘浪(1991—),男,江苏盐城人,博士,教授,主要从事杂草抗药性研究。E-mail:langpan@hunau.edu.cn

稗草(*Echinochloa crus-galli*)为一年生禾本科杂草,是水稻田分布广泛且危害严重的主要恶性杂草之一。它与水稻争光争肥,严重影响水稻的品质和产量,发生严重时可导致水稻减产达80%<sup>[1-2]</sup>。

化学防除是稗草最有效的防除手段之一。目前,防除稻田稗草的除草剂主要分为两大类:一类是乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase, ALS)抑制剂类除草剂,如五氟磺草胺、双草醚等;另一类是乙酰辅酶A羧化酶(acetyl-CoA carboxylase, ACCase)抑制剂类除草剂,如氰氟草酯、噁唑酰草胺等。氰氟草酯是ACCase抑制剂类除草剂,其主要通过抑制脂肪酸的合成从而导致植株的死亡<sup>[3]</sup>。因其对水稻安全且极易降解,被广泛应用于水稻田防除稗草、千金子等禾本科杂草<sup>[4]</sup>。但由于该除草剂作用位点单一,且长期、大量、频繁施用,稗草抗药性日益严重。目前,已有报道显示我国多地稗草对氰氟草酯产生了抗药性<sup>[5-8]</sup>。

稗草对除草剂的抗性机理主要分为靶标抗性和非靶标抗性<sup>[9]</sup>。靶标抗性主要是由于杂草体内的除草剂作用靶标发生变异,如基因突变或基因扩增,导致除草剂无法有效抑制这些靶标,从而使杂草对特定除草剂产生抗性<sup>[9]</sup>。迄今为止已报道杂草中7个有关ACCase基因突变的位点(Ile-1781、Trp-2027、Trp-1999、Ile-2041、Asp-2078、Cys-2088和Gly-2096)<sup>[10]</sup>。2011年,Huan等<sup>[11]</sup>发现Ile-1781-Leu突变与稗草对精喹禾灵的抗性有关。2017年,左平春<sup>[12]</sup>发现Ile-1781-Leu和Trp-2027-Cys突变可导致稗草对噁唑酰草胺产生抗性。2020年,Fang等<sup>[13]</sup>发现稗草Asp-2078-Glu突变与氰氟草酯、噁唑酰草胺和精噁唑禾草灵的抗性有关。非靶标抗性主要指杂草通过代谢解毒能力的增强、与作用位点的屏蔽作用或隔离作用对除草剂产生抗性<sup>[14]</sup>。当前被认为与杂草代谢解毒能力增强有关的基因家族主要有4个:细胞色素P450单加氧酶(cytochrome P450 monooxygenases, CYP450s)、谷胱甘肽S-转移酶(glutathione S-transferases, GSTs)、UDP-糖基转移酶(UDP-glucosyltransferases, UDP-GTs)和ABC转运蛋白(ATP-binding cassette transporters, ABC transporters)等<sup>[15-17]</sup>。2019年,Iwakami等<sup>[18]</sup>发现CYP81A12和CYP81A21赋予了水田稗对ACCase抑制剂类除草剂的抗性。2021年,Pan等<sup>[17]</sup>发现ABCC8赋予了光头稗对草甘膦的抗性。2022年,Pan等<sup>[19]</sup>发现CYP81A68赋予了稗草对ACCase和ALS抑制剂类除草剂的抗性。

本研究以来自湖南省和江西省的4个稗草种群

为试验材料,采用整株生物测定法明确其对氰氟草酯的抗性水平,通过ACCase靶标酶基因序列分析及代谢酶抑制剂联用试验探究其可能的抗药性机理,以期为抗性稗草防治策略的制定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料:抗性稗草种群(R1、R2)采集自湖南省长沙市长沙县水稻田,抗性稗草种群(R3、R4)采集自江西省南昌市南昌县水稻田,4个地方的氰氟草酯用药史均大于5年。敏感稗草种群(S)采自江苏省宿迁市沭阳县,无该除草剂用药史。稗草种子采集后置于阴凉处自然风干,于4℃种子柜中储存备用。

供试药剂及试剂:100 g/L氰氟草酯乳油,科迪华农业科技有限责任公司;CYP450抑制剂马拉硫磷(95%),北京都益佳禾生物技术开发有限公司;GST抑制剂4-氯-7-硝基苯并噁唑(NBD-Cl, 97%),西格玛奥德里奇公司;植物DNA提取试剂盒,天根生化科技有限公司;OMEGA Gel Extraction Kit D2500,广州飞扬生物工程有限公司;TrellefTM 5α Chemically Competent Cells、pClone007 Vector Kit,北京擎科生物科技有限公司;Go Taq Green Master Mix,普洛麦格(北京)生物技术有限公司。

主要仪器:3WP-2000型生测喷雾塔,农业农村部南京农业机械化研究所;电泳仪,美国Bio-Rad公司;凝胶成像仪,上海天能生命科学有限公司;离心机,德国艾本德股份公司;万分之一电子天平,湘仪天平仪器设备有限公司;恒温培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;生化培养箱、PCR仪,赛默飞世尔科技公司;雪科IMS-20制冰机,常熟市雪科电器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 稗草对氰氟草酯的敏感性测定

将稗草种子置于铺好滤纸的塑料发芽碗中,加入适量的蒸馏水保持湿润状态,将其置于25℃温室进行催芽,等到幼苗长至3 cm左右进行移栽。将水稻基质与蛭石按体积比3:2混合均匀,装入底部有孔,直径为8 cm的塑料小盆内,稗草移栽后置于温室培养。待幼苗长至3~4叶期,使用3WP-2000型生测喷雾塔对稗草进行氰氟草酯茎叶喷雾处理,其中抗性种群有效成分施药量分别为0、105、210、420、840、1 680、3 360 g/hm<sup>2</sup>,敏感种群有效成分施药量分别为0、6.56、13.13、26.25、52.5、105.0、157.5 g/hm<sup>2</sup>。氰氟草酯处理21 d后,剪取稗草地上部分称量鲜重,

每个处理3次重复,试验重复2次。采用Sigma Plot 14.0软件对数据进行四参数非线性logistic回归模型拟合,计算GR<sub>50</sub>值和抗性指数(RI)。

$$y = C + \frac{D-C}{1 + (x/GR_{50})^b}$$

式中:y为未处理对照在x剂量除草剂作用下的鲜重百分比;b为斜率;C和D分别代表剂量反应下限和上限。

$$RI = \frac{\text{抗性种群GR}_{50}}{\text{敏感种群GR}_{50}}$$

### 1.2.2 抗性稗草种群ACCase基因序列分析

每个抗性稗草种群剪取5株105 g/hm<sup>2</sup>氰氟草酯处理后存活的新鲜稗草叶片,用植物基因组DNA试剂盒提取单株DNA并于-20℃保存。扩增稗草ACCase片段的引物为ACC-F(5'-AGGCAGATTATT GTTGTAGC-3')和ACC-R(5'-GATTATCAACTCTG GTC-3')。25 μL扩增体系:1 μL gDNA、正反引物各1 μL(10 mmol)、12.5 μL Green Master Mix和9.5 μL ddH<sub>2</sub>O。PCR反应条件:95℃预变性2 min;95℃变性30 s,56℃退火30 s,72℃延伸90 s,共35个循环;72℃再延伸5 min。PCR扩增产物经1%琼脂糖电泳检测,切取含目的基因条带的凝胶,用凝胶提取试剂盒纯化。将目的基因与pClone007VS载体连接后转化到大肠杆菌DH5α感受态细胞中,每个基因至少挑选8个阳性克隆,委托北京擎科生物技术有限公司测序,再用BioEdit软件对测序的稗草抗性种群和敏感种群ACCase碱基及氨基酸序列结果进行序列分析和比对。

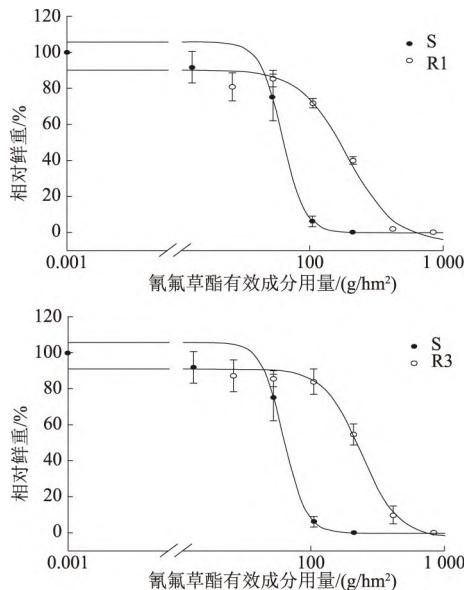


图1 稗草抗性种群和敏感种群对氰氟草酯的用量-反应曲线

### 1.2.3 细胞色素P450和GST抑制剂与氰氟草酯联用试验

采用整株生物测定法检测细胞色素P450抑制剂马拉硫磷和GST抑制剂NBD-Cl与氰氟草酯联用后对抗敏种群的影响,稗草植株按照1.2.1中条件培养,在施用氰氟草酯之前对稗草种群分别进行马拉硫磷(1 000 g/hm<sup>2</sup>)和NBD-Cl(270 g/hm<sup>2</sup>)预处理。然后按照1.2.1中氰氟草酯有效成分用量对稗草种群进行茎叶喷雾处理,处理组包括氰氟草酯、马拉硫磷+氰氟草酯、NBD-Cl+氰氟草酯。处理后21 d剪取稗草地上组织并称重,计算各个种群在不同处理下的GR<sub>50</sub>。每个处理重复3次,试验重复2次。

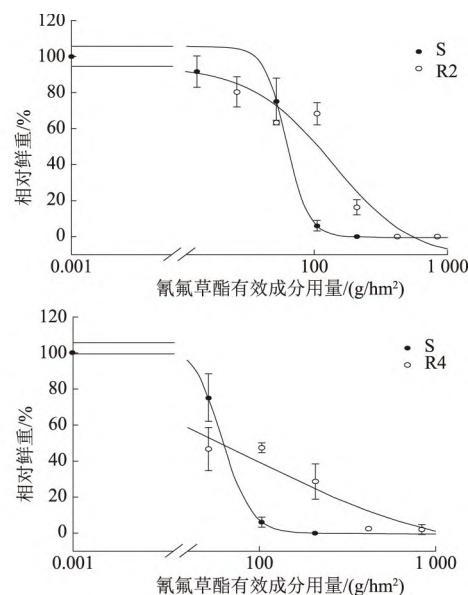
## 2 结果与分析

### 2.1 稗草种群对氰氟草酯的抗性水平

施药21 d后,稗草S种群在田间推荐用量下生长受到明显抑制。R1、R2及R3种群对氰氟草酯产生了中等水平的抗性,其抗性指数分别为3.08、2.19及3.83;稗草R4种群对氰氟草酯产生了低水平的抗性,其抗性指数为1.45,见表1、图1。

表1 稗草种群对氰氟草酯的抗药性水平

药剂处理	种群	(GR <sub>50</sub> ±SE)/(g/hm <sup>2</sup> )	相对抗性指数RI
	S	62.40±16.00	1.00
	R1	192.30±33.50	3.08
氰氟草酯	R2	136.53±67.30	2.19
	R3	239.03±27.20	3.83
	R4	90.30±65.00	1.45



## 2.2 抗敏稗草种群的ACCase基因序列分析

对稗草敏感和抗性种群ACCase基因扩增和测序分析结果见表2。

由表2可知:R1种群中存在Ile-2041-Val突变,碱基序列由ATT突变为GTT;R2种群中存在Ile-2041-

Val、Asp-2078-Gly突变,碱基序列由ATT和GAT分别突变为GTT和GGT;R3种群中存在Trp-2027-Arg突变,碱基序列由TGG突变为AGG和CGG;R4种群中存在Cys-2088-Tyr突变,碱基序列由TGT突变为TAT。

表2 稗草抗性种群ACCase序列比对

物种/种群	各氨基酸的位置和碱基及相应氨基酸序列						
	1781	1999	2027	2041	2078	2088	2096
鼠尾 <i>Salvia japonica</i> Thunb	ATA	TGG	TGG	ATT	GAT	TGC	GGC
	Ile	Trp	Trp	Ile	Asp	Cys	Gly
S	ATA	TGG	TGG	ATT	GAT	TGT	GGC
	Ile	Trp	Trp	Ile	Asp	Cys	Gly
R1	ATA	TGG	TGG	GTT	GAT	TGT	GGC
	Ile	Trp	Trp	Val	Asp	Cys	Gly
R2	ATA	TGG	TGG	GTT	GGT	TGT	GGC
	Ile	Trp	Trp	Val	Gly	Cys	Gly
R3	ATA	TGG	CGG/AGG	ATT	GAT	TGT	GGC
	Ile	Trp	Arg	Ile	Asp	Cys	Gly
R4	ATA	TGG	TGG	ATT	GAT	TAT	GGC
	Ile	Trp	Trp	Ile	Asp	Tyr	Gly

## 2.3 细胞色素P450和GST抑制剂对抗氟草酯稗草的影响

比较抗敏种群对单独施用氰氟草酯、氰氟草酯与P450抑制剂马拉硫磷联用、氰氟草酯与GST抑制剂NBD-C1联用下的GR<sub>50</sub>,结果见表3。

表3 代谢酶抑制剂与氰氟草酯联用对抗性影响

种群	药剂处理	(GR <sub>50</sub> ±SE)/ (g/hm <sup>2</sup> )	相对抗性 指数RI
	氰氟草酯	62.40±16.00	1.00
S	NBD-C1+氰氟草酯	58.09±8.16	0.93
	马拉硫磷+氰氟草酯	62.79±56.10	1.01
	氰氟草酯	192.30±33.50	3.08
R1	NBD-C1+氰氟草酯	146.04±28.30	2.34
	马拉硫磷+氰氟草酯	151.44±37.00	2.43
	氰氟草酯	136.53±67.30	2.19
R2	NBD-C1+氰氟草酯	61.40±2.60	0.98
	马拉硫磷+氰氟草酯	56.92±22.80	0.91
	氰氟草酯	236.39±27.20	3.83
R3	NBD-C1+氰氟草酯	133.50±26.30	2.14
	马拉硫磷+氰氟草酯	228.60±65.00	3.66
	氰氟草酯	90.30±65.00	1.45
R4	NBD-C1+氰氟草酯	134.73±10.90	2.16
	马拉硫磷+氰氟草酯	96.25±7.70	1.54

2种代谢酶抑制剂对稗草敏感种群均无显著影响;与单独施用氰氟草酯相比,NBD-C1与氰氟草酯

联用后,R1、R2、R3的GR<sub>50</sub>分别从192.3、136.53、239.03 g/hm<sup>2</sup>降至146.04、61.40、133.50 g/hm<sup>2</sup>,抗性指数分别从原来的3.08、2.19、3.83下降到2.34、0.98、2.14,说明GST抑制剂NBD-C1可提高抗性种群对氰氟草酯的敏感性,这3个种群中可能存在GST介导的代谢抗性;马拉硫磷与氰氟草酯联用后,R1、R2的GR<sub>50</sub>分别从192.3、136.53 g/hm<sup>2</sup>降至151.44、56.92 g/hm<sup>2</sup>,抗性指数从3.08、2.19下降到2.43、0.91,说明CYP450抑制剂马拉硫磷可提高抗性种群对氰氟草酯的敏感性,这2个种群可能存在CYP450介导的代谢抗性。此外,与R1、R2、R3不同的是,R4种群在喷施NBD-C1+氰氟草酯和马拉硫磷+氰氟草酯后,其GR<sub>50</sub>没有显著变化,说明这2种抑制剂对R4种群的抗性并没有影响。

## 3 讨论

氰氟草酯是芳氧苯氧丙酸酯类除草剂中对水稻具有高度安全性的一种除草剂;已有千金子、稗草、马唐、牛筋草等禾本科杂草对氰氟草酯产生了不同程度抗药性的报道<sup>[7,20-22]</sup>。本研究中从湖南和江西采集到的4个稗草种群对氰氟草酯也产生了低到中等水平的抗性。靶标基因突变是杂草对ACCase抑制剂类除草剂产生抗性报道最多的抗性机制<sup>[9]</sup>。迄今为止,在杂草已知ACCase CT区的7个氨基酸位点

中已有18种氨基酸取代导致杂草产生抗药性被报道<sup>[23-25]</sup>。本研究中的4个抗性稗草种群中也存在不同形式的靶标突变,分别是R1种群中的Ile-2041-Val突变,R2种群中的Ile-2041-Val和Asp-2078-Gly突变,R3种群中的Trp-2027-Arg突变,R4种群中的Cys-2088-Tyr突变。2021年,Wang等<sup>[26]</sup>发现Ile-2041-Val突变赋予了薙草对3种ACCase抑制剂类除草剂的抗性;2015年,Vila-Aiub等<sup>[27]</sup>发现Asp-2078-Gly突变赋予了硬直黑麦草对ACCase抑制剂类除草剂的抗性。本研究中R1和R2种群的2个位点突变形式与该研究结果一致。此外,值得注意的是,目前2027和2088位点已有报道显示,多个氨基酸取代形式与ACCase抑制剂类除草剂抗性相关<sup>[28]</sup>,但R3和R4种群的突变形式还未被报道,这可能和ACCase基因突变具有不确定性和稀释效应有关。

2015年,Pan等<sup>[28]</sup>发现薙草对ACCase抑制剂类除草剂精噁唑禾草灵的抗性是由靶标抗性和非靶标抗性共同介导产生;2022年,Zhang等<sup>[29]</sup>发现2个抗氰氟草酯的千金子种群也是由靶标抗性和非靶标抗性共同介导产生。因此,本研究也进一步探究了抗性稗草中非靶标抗性的存在可能性。结果表明,CYP450抑制剂和GST抑制剂均可提高抗性种群R1和R2对氰氟草酯的敏感性,GST抑制剂可以显著提高R3种群对氰氟草酯的抗性。说明这3个抗性种群对氰氟草酯的抗性是由靶标抗性和非靶标抗性共同介导,且非靶标抗性主要是P450和GST等代谢酶介导的代谢抗性。CYP450抑制剂和GST抑制剂对R4种群抗性无显著影响,表明该种群的抗性主要由靶标抗性造成。尽管目前这些种群还处于低到中等的抗性水平,但是由于有新的突变和非靶标抗性机制的存在,稗草的抗性进化也将非常迅速和不可控,其抗性进化情况需密切关注,并针对不同抗性模式的稗草制定多样化的除草策略,实现对抗性稗草的科学治理,延缓稗草抗药性发展<sup>[30]</sup>。

#### 4 结论

本研究结果显示,采集自湖南、江西的4个抗性稗草种群均对氰氟草酯产生了一定的抗药性。对氰氟草酯产生低抗水平的R4种群是由靶标抗性所介导,而对氰氟草酯表现出中等水平抗性的R1、R2、R3稗草种群是由靶标抗性和非靶标抗性共同介导,但是对非靶标抗性有关的CYP450和GST代谢酶基因的功能还有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] WILSON M J, NORSWORTHY J K, SCOTT R C, et al. Program approaches to control herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in midsouthern United States rice[J]. Weed Technology, 2014, 28(1):39-46.
- [2] ZHANG Z C, GU T, ZHAO B H, et al. Effects of common *Echinochloa* varieties on grain yield and grain quality of rice[J]. Field Crops Research, 2017, 203: 163-172.
- [3] EBERHARDT D S, OLIVEIRA N A M, NOLDIN J A, et al. Barnyardgrass with multiple resistance to synthetic auxin, ALS and ACCase inhibitors[J]. Planta Daninha, 2016, 34(4): 823-832.
- [4] 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.
- [5] ZHANG C, KIM D. Diagnosing ACCase inhibitor-cyhalofop-butyl resistance in *Echinochloa crus-galli* at various growth stages [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2016, 97(2): 286-297.
- [6] IWAKAMI S, HASHIMOTO M, MATSUSHIMA K, et al. Multiple-herbicide resistance in *Echinochloa crus-galli* var. formosensis, an allohexaploid weed species, in dry-seeded rice[J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 2015, 119: 1-8.
- [7] YANG Q, YANG X, ZHU J L, et al. Metabolic resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicide cyhalofop-butyl in a Chinese *Echinochloa crus-galli* population[J]. Agronomy, 2022, 12 (11): 2724-2724.
- [8] 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.
- [9] POWLES B S, YU Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides [J]. Annual Review of Plant Biology, 2010, 61 (1): 317-347.
- [10] MURPHY P B, TRANEL J P. Target-site mutations conferring herbicide resistance[J]. Plants, 2019, 8(10): 382-382.
- [11] HUAN Z B, JIN T, ZHANG S, et al. Cloning and sequence analysis of plastid acetyl-CoA carboxylase cDNA from two *Echinochloa crus-galli* biotypes [J]. Journal of Pesticide Science, 2011, 36(4): 461-466.
- [12] 左平春.稗草对噁唑酰草胺的抗药性研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
- [13] FANG J, HE Z, LIU T, et al. A novel mutation Asp-2078-Glu in ACCase confers resistance to ACCase herbicides in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) [J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 2020, 168: 104634.
- [14] RIGON C, GAINES T, KUEPPER A, DAYAN, et al. Metabolism-based herbicide resistance, the major threat among the non-target site resistance mechanisms[J]. Outlooks on Pest Management, 2020, 31: 162-168.
- [15] YUAN J S, TRANEL P J, STEWART C N. Non-target-site

- herbicide resistance: a family business[J]. Trends Plant Science, 2007, 12(1): 6-13.
- [16] DIMAANO N G, YAMAGUCHI T, FUKUNISHI K, et al. Functional characterization of cytochrome P450 CYP81A subfamily to disclose the pattern of cross-resistance in *Echinochloa phyllopogon*[J]. Plant Molecular Biology, 2020, 102(4/5): 403-416.
- [17] PAN L, YU Q, WANG J, et al. An ABCC-type transporter endowing glyphosate resistance in plants[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2021, 118(16): e2100136118.
- [18] IWAKAMI S, KAMIDATE Y, YAMAGUCHI T, et al. CYP81A P450s are involved in concomitant cross-resistance to acetolactate synthase and acetyl-CoA carboxylase herbicides in *Echinochloa phyllopogon*[J]. New Phytologist, 2019, 221(4): 2112-2122.
- [19] PAN L, GUO Q, WANG J, et al. CYP81A68 confers metabolic resistance to ALS and ACCase-inhibiting herbicides and its epigenetic regulation in *Echinochloa crus-galli* [J]. Journal of Hazardous Materials, 2022, 428: 128225.
- [20] ZHAO N, JIANG M, LI Q, et al. Cyhalofop-butyl resistance conferred by a novel Trp-2027-Leu mutation of acetyl-CoA carboxylase and enhanced metabolism in *Leptochloa chinensis*[J]. Pest Management Science, 2022, 78(3): 1176-1186.
- [21] YANG Q, ZHU J L, YANG X, et al. Ile-1781-Leu target mutation and non-target-site mechanism confer resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides in *Digitaria ciliaris* var. chrysoblephara[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71 (21): 7988-7995.
- [22] DENG W, YANG Q, CHEN Y, et al. Cyhalofop-butyl and glyphosate multiple-herbicide resistance evolved in an *Eleusine indica* population collected in Chinese direct-seeding rice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(9): 2623-2630.
- [23] KAUNDUN S. Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides[J]. Pest Management Science, 2014, 70(9): 405-17
- [24] 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.
- [25] PENG Y J, PAN L, LIU D C, et al. Confirmation and characterization of cyhalofop-butyl-resistant Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis*) populations from China[J]. Weed Science, 2020, 68(3): 253-259.
- [26] WANG J Z, PENG Y J, CHEN W, et al. The Ile-2041-Val mutation in the ACCase gene confers resistance to clodinafop-propargyl in American sloughgrass (*Beckmannia syzigachne* Steud)[J]. Pest Management Science, 2021, 77(5): 2425-2432.
- [27] VILA-AIUB M M, YU Q, HAN H P, et al. Effect of herbicide resistance endowing Ile-1781-Leu and Asp-2078-Gly ACCase gene mutations on ACCase kinetics and growth traits in *Lolium rigidum* [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(15): 4711-4718.
- [28] PAN L, LI J, ZHANG T, et al. Cross-resistance patterns to acetyl coenzyme A carboxylase (ACCase) inhibitors associated with different ACCase mutations in *Beckmannia syzigachne*[J]. Weed Research, 2015, 55: 609-620.
- [29] ZHANG Y, CHEN L, SONG W, et al. Diverse mechanisms associated with cyhalofop-butyl resistance in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees): characterization of target-site mutations and metabolic resistance-related genes in two resistant populations[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 990085.
- [31] 吴佳文. 水稻田杂草绿色防控技术[J]. 农家致富, 2020(12): 32-33.

(编辑:顾林玲)

## 《现代农药》投稿简则

《现代农药》(双月刊)是由国家新闻出版总署批准在国内外公开发行的中国农药行业技术类期刊,并入选“中国科技核心期刊”。本刊主要报道未曾发表过的、具有新颖性的农药研究成果。投稿方式分为邮箱([agrochem@263.net](mailto:agrochem@263.net))或投稿系统(<http://xdnyqk.com/>)。现将有关稿件要求通告如下:

**题名** 文章应主题鲜明,内容新颖,条理清晰,文字简洁,数据可靠。题名应简明、具体、确切,概括文章的要旨。中文题名一般不超过20个汉字,英文题名一般不超过10个实词。

**摘要与关键词** 正文前有300~400字的摘要及5~6个关键词,中英文摘要均采用第三人称书写,应包括目的、方法、结果和结论,突出创新性。

**作者与单位** 按排名先后顺序,用中英文写出全部作者及工作单位全称、所在城市和邮政编码,以\*标明通信作者。第一作者简介包括:姓名、出生年份、性别、籍贯(某省某市/县人)、职称或学位、从事专业或研究方向、联系方式。

**字体及格式** 正文用5号宋体;每段首行缩进2字;标题一律左顶格排;层次划分不超过4级。正确使用简化汉字和标点符号。采用国家规定的统一计量单位与符号。

**图表** 文中图表力求精简,内容不应重复。图、表题、注释和图、表中文字均用中文;图题和表题用小5号黑体、居中;图、表中文字用6号宋体。表格采用国际通用的三线表。插图要绘制清晰;色谱图要附原图。表、图内数据须标明计量单位。

**农药名称** 应使用农药通用名称,制剂需注明含量和剂型,可在正文中首次出现时用括号标注英文通用名、商品名(注册商标)及生产厂家。

**参考文献** 参考文献只列作者阅读过、与文章内容密切相关、正式发表的主要文献资料,引用文献不宜太旧。按正文中引用先后顺序编号,采用6号宋体;并在正文中引用处用方括号作上标加以标注,即……[1],……[2-4],……[3, 5]。参考文献作者仅列前3名,3名后加“等”。作者姓名一律姓在前,名在后;外国人名可缩写为首位字母(大写),但不加缩写点(.)。