

黑龙江省稻田野慈姑对丙嗪嘧磺隆抗性相关研究

吕晓曦, 赵长山*, 李庚, 王春雨, 吴桐

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要 通过整株盆栽法研究黑龙江省佳木斯市汤原县(种群R1)、856农场(种群R2)、密山市(种群R3)3个水稻田野慈姑种群对丙嗪嘧磺隆的抗性水平,采用分子生物学技术分析3个野慈姑种群在靶标酶基因上的差异,确定3个野慈姑种群对丙嗪嘧磺隆和苄嘧磺隆是否存在交互抗性。结果显示,黑龙江R1、R2、R3种群抗性指数(RI)分别为11.92、22.68、35.99。与敏感的七台河种群S相比,R1、R2、R3的ALS基因均在Pro₁₉₇位发生不同突变。R1种群为Thr₁₉₇取代了Pro₁₉₇;R2、R3种群为Ser₁₉₇取代了Pro₁₉₇,ALS基因的突变是其产生抗性的主要原因。3个野慈姑种群对丙嗪嘧磺隆和苄嘧磺隆存在交互抗性。

关键词 野慈姑; 丙嗪嘧磺隆; 抗性

中图分类号: S 481.4 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018186

Resistance of *Sagittaria trifolia* L. populations in rice fields in Heilongjiang Province to propyrisulfuron

LV Xiaoxi, ZHAO Changshan, LI Geng, WANG Chunyu, WU Tong

(School of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract The whole-plant bioassays were used to determine the resistance level of *Sagittaria trifolia* populations from rice fields of Tangyuan (R1), 856 farm (R2) and Mishan in Heilongjiang Province to propyrisulfuron. The target genes of the resistance of the three *S. trifolia* populations were analyzed and cross-resistances between the three *S. trifolia* populations to propyrisulfuron and bensulfuron-methyl were determined by molecular biology techniques. The results showed that the resistance indexes (RIs) were 11.92, 22.68 and 35.99 for R1, R2 and R3, respectively. Compared with the susceptible population, the acetolactate synthase (ALS) genes of R1, R2, and R3 all had different mutations at Pro₁₉₇. The amino acid substitution for R1 population was Pro-197-Thr, and that for R2 and R3 populations was Pro-197-Ser. The results showed that the mutation of ALS gene is the main reason for *S. trifolia* resistance. Three *S. trifolia* populations developed cross-resistance to bensulfuron-methyl and propyrisulfuron.

Key words *Sagittaria trifolia*; propyrisulfuron; resistance

野慈姑 *Sagittaria trifolia* L. 属泽泻科慈姑属,为慈姑 *Sagittaria trifolia* L. var. *sinensis* (Sims.) Makino 的变种,多年生水生或沼生草本,广泛分布于全球水稻田,为水稻田常见杂草,近年来由于野慈姑长势快,发生量多,已成为黑龙江省水稻田主要杂草之一^[1-2]。

乙酰乳酸合成酶(acetolactate synthase, ALS)是合成支链氨基酸亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸关键酶^[3]。以ALS为靶标的除草剂,如磺酰脲类(sulfo-

nylurea, SU)、咪唑啉酮类(imidazolinone, IMI)、三唑并嘧啶类(triazolopyrimidine, TP)、嘧啶水杨酸类(pyrimidinylthiobenzoate, PTB)和磺酰胺羰基三唑啉酮类(sulfonylaminocarbonyltriazolinone, SCT),由于作用位点单一,长期施用易使杂草产生抗性。全球范围内,抗ALS抑制剂类除草剂的杂草种类最多,目前已经达到160种^[4]。我国有雨久花 *Monochoria korsakowii* L.、播娘蒿 *Descurainia sophia* (L.) Webb. ex Prantl.、慈姑 *Sagittaria trifolia* L. var.

收稿日期: 2018-04-30 修订日期: 2018-07-05

基金项目: 黑龙江省科技厅科技攻关课题(GC12B103)

* 通信作者 E-mail: 2425258589@qq.com

sinensis (Sims.) Makino、看麦娘 *Alopecurus aequalis* Sobol.、日本看麦娘 *Alopecurus japonicus* Steud. 等 16 种杂草对 ALS 抑制剂产生了抗性^[4]。国内外研究表明,杂草对 ALS 抑制剂的抗性机理主要包括两种,一种是靶标基因发生突变,即 ALS 基因序列上 8 个氨基酸位点(以拟南芥的 ALS 基因编码为准,Ala₁₂₂, Ala₂₀₅, Pro₁₉₇, Asp₃₇₆, Arg₃₇₇, Trp₅₇₄, Ser₆₅₃, Gly₆₅₄)发生突变而使杂草产生抗性^[5];另一种是非靶标位点的抗性机制,包括除草剂解毒作用的增强或除草剂在杂草体内吸收传导能力受阻^[6]。

Iwakami 在日本水稻田首次发现对磺酰脲类除草剂苄嘧磺隆和吡嘧磺隆产生抗性的野慈姑^[7]。徐凤、吴明根等报道吉林省多个地区野慈姑对苄嘧磺隆产生了抗性,其中吉林白旗的野慈姑可能对五氟磺草胺产生了交互抗性^[8-9];陈丽丽等发现黑龙江省 5 个地区水稻田野慈姑种群对吡嘧磺隆、苄嘧磺隆的敏感性存在差异^[10];魏松红、李平升等报道辽宁省 2 个野慈姑种群对苄嘧磺隆产生了抗性^[11-12];刘延等报道黑龙江省哈尔滨稻田 2 个野慈姑种群对吡嘧磺隆产生抗性,并推测靶标酶 ALS 基因 Pro₁₉₇ 位点的突变可能是野慈姑种群对磺酰脲类除草剂产生抗性的主要原因^[13]。

黑龙江水稻田由于长期施用磺酰脲类除草剂苄嘧磺隆和吡嘧磺隆,使得野慈姑在除草剂选择压力下抗性水平逐年升高。丙噻嘧磺隆(propyrisulfuron)属磺酰脲类除草剂,2014 年初在我国登记。黑龙江部分地区野慈姑对丙噻嘧磺隆表现不敏感,疑似产生抗性。因此,本研究采用整株盆栽试验及靶标位点 ALS 基因测序,揭示黑龙江省不同地区野慈姑对丙噻嘧磺隆敏感性下降的原因,并探讨丙噻嘧磺隆与苄嘧磺隆的交互抗性。以期对杂草抗性的鉴定和治理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:野慈姑疑似抗性种群于 2017 年 5 月采自黑龙江佳木斯市汤原县水稻田(种群 R1)、856 农场水稻田(种群 R2)、密山市水稻田(种群 R3)。这些地区多年使用苄嘧磺隆、吡嘧磺隆,且对丙噻嘧磺隆表现不敏感;敏感野慈姑球茎采集于七台河勃利县水塘旁(种群 S)。

除草剂:9.5%丙噻嘧磺隆(propyrisulfuron)悬

浮剂,住友化学公司;10%苄嘧磺隆(bensulfuron-methyl)可湿性粉剂,上海杜邦农化有限公司。

试剂:溴化乙锭, Sigma 公司;DL2000 DNA Marker,北京全氏金生物技术有限公司;2×Taq PCR Master Mix,天根生化科技有限公司。其余试剂均为分析纯试剂。

施药器械:KNAPSACK Hydraulic Sprayer,背负式喷雾器,四喷头,喷嘴型号为 TEEJET 80015VS,喷液压力为 20 psi,喷液量为 225 L/hm²。

仪器:温度梯度 PCR 仪, Bio-Rad 公司;ML204 万分之一电子天平,梅特勒·托利多仪器(上海)有限公司;台式 Centrifuge 5417R 型低温离心机, Eppendorf 公司;凝胶成像分析系统, UVP 公司; JY600C 电泳槽,北京君意东方电泳设备有限公司。

1.2 方法

1.2.1 野慈姑对苄嘧磺隆和丙噻嘧磺隆抗性水平整株测定

将采自佳木斯市汤原县、856 农场、密山市、七台河市的野慈姑球茎分别播种于直径为 30 cm 的塑料桶内,每桶播种 10 个球茎。出苗后人工间苗,每桶保留 6 个长势一致的植株,待其长至 4~6 叶期时喷施除草剂。9.5%丙噻嘧磺隆 SC,疑似抗性种群(R1、R2、R3)的喷施剂量(制剂量,下同)为 0、14.25、57、228、912、3 648 g/hm²;敏感性种群(S)的喷施剂量为 0、0.89、3.56、14.25、57、228 g/hm²;10%苄嘧磺隆 WP,疑似抗性种群(R1、R2、R3)的喷施剂量为 0、7.5、30、120、480、1 920 g/hm²,敏感性种群(S)的喷施剂量为 0、0.47、1.88、7.5、30、120 g/hm²。每处理 3 次重复。30 d 后剪取地上部分,称量鲜重,计算鲜重抑制率。采用 DPS 7.05 软件,以鲜重抑制率几率值(y)和剂量对数值(x)建立毒力回归方程(y=a+bx),计算 ED₅₀、95%置信限及相关系数 r。并计算其抗性指数(RI)。RI=抗性种群 ED₅₀/敏感种群 ED₅₀。

1.2.2 ALS 基因检测

同时播种 4 个野慈姑种群(S、R1、R2、R3),待植株生长至 4~6 叶期时,用 9.5%丙噻嘧磺隆 SC 114 g/hm² 茎叶喷雾处理,10 d 后取生长态势良好的 S、R1、R2、R3 植株叶片的幼嫩组织,每个种群取 3 株,单株分装,-80℃冰箱保存、备用。试验时每株取叶片 0.1 g,提取基因组 DNA。

依据已发表的野慈姑 ALS 基因序列设计引物

CG59F/1961R 和 CG1783F/CG2099R,引物由华大基因股份有限公司合成。两对引物可扩增野慈姑 ALS 基因所有保守区序列,包括抗性相关突变位点 Ala₁₂₂、Pro₁₉₇、Ala₂₀₅、Asp₃₇₆、Arg₃₇₇、Trp₅₇₄、Ser₆₅₃ 和 Gly₆₅₄(位点以拟南芥为参照)。引物序列及相关信息见表 1。

引物对 CG59F/1961R 采用 20 μL 反应体系: 2×Taq PCR MasterMix 10 μL; 10 μmol/L CG59F/1961R 各 0.5 μL; DNA 样品 1 μL; ddH₂O 8 μL。PCR 反应条件: 95℃ 预变性 10 min; 95℃ 变性 30 s, 55.7℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸 1.54 min, 共 35 个循环;

72℃ 延伸 10 min。
引物对 CG1783F/CG2099R 采用 15 μL 反应体系: 2×Taq PCR MasterMix 7.5 μL; 10 μmol/L CG1783F/CG2099R 各 0.5 μL; DNA 样品 0.5 μL; ddH₂O 6 μL。PCR 反应条件: 95℃ 预变性 5 min; 95℃ 变性 30 s, 52.9℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸 20 s, 共 35 个循环; 72℃ 延伸 5 min。
用 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 扩增结果, 将符合预期大小的, 条带清晰的样品送北京华大基因科技有限公司测序, 用 Chromas 软件对测序峰图进行比对分析。

表 1 扩增野慈姑 ALS 基因部分片段的两对引物

Table 1 Primers used to amplify partial ALS gene from the <i>Sagittaria trifolia</i>				
引物名称 Primer	序列(5'→3') Sequence	退火温度/℃ Annealing temperature	片段大小/bp Amplicon size	包含已确认的突变位点 The confirmed point mutations
CG59F	TCCCCTTTACTTCTCCCG	55.7	1 900	Ala ₁₂₂ 、Pro ₁₉₇ 、Ala ₂₀₅ 、Asp ₃₇₆ 、Arg ₃₇₇ 、Trp ₅₇₄
CG1961R	TACAGAGGAAACAGGGAA			
CG1783F	GCTAACAGAGCACATACA			
CG2099R	GAAACAGGAAATCAAAC	52.9	300	Ser ₆₅₃ 、Gly ₆₅₄

2 结果与分析

2.1 野慈姑对丙嗪嘧磺隆和苄嘧磺隆的抗性水平

2.1.1 野慈姑对丙嗪嘧磺隆的抗性水平

由表 2 可见:野慈姑种群 S、R1、R2、R3 的 ED₅₀

分别为 6.28、74.89、142.50、226.11 g/hm², R1、R2、R3 均对丙嗪嘧磺隆产生了一定程度的抗性, 抗性指数在 11.92~35.99 之间。3 个种群对丙嗪嘧磺隆的抗性程度为: R3>R2>R1。

表 2 野慈姑对丙嗪嘧磺隆的抗性水平

Table 2 Resistance level of different <i>Sagittaria trifolia</i> populations to propyrisulfuron				
种群 Population	回归方程 Linear regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	ED ₅₀ (95%置信限)/g·(hm ²) ⁻¹ 95% confidence limit of ED ₅₀	抗性指数(RI) Resistance index
S	y=4.153 9+1.060 0x	0.990 7	6.28(4.52~8.73)	1.00
R1	y=3.016 7+1.058 1x	0.976 0	74.89(42.40~132.26)	11.92
R2	y=2.456 5+1.180 9x	0.956 9	142.50(71.33~284.70)	22.68
R3	y=2.809 0+0.930 6x	0.974 4	226.11(135.50~377.31)	35.99

2.1.2 野慈姑对苄嘧磺隆的抗性水平

由表 3 可见:不同野慈姑种群对苄嘧磺隆的 ED₅₀ 差别较大, 敏感性种群 S 的 ED₅₀ 为 3.89 g/hm²; 种群 R1 的 ED₅₀ 为 55.14 g/hm², 抗性指数 14.16; 种群

R2、R3 的 ED₅₀ 较大, 分别为 183.85、198.90, 抗性指数分别为 47.20、51.07。3 个种群对苄嘧磺隆的抗性程度依次为: R3>R2>R1(表 3)。

表 3 野慈姑对苄嘧磺隆的抗性水平

Table 3 Resistance level of different <i>Sagittaria trifolia</i> populations to bensulfuron-methyl				
种群 Population	回归方程 Linear regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	ED ₅₀ (95%置信限)/g·(hm ²) ⁻¹ 95% confidence limit of ED ₅₀	抗性指数(RI) Resistance index
S	y=4.350 0+1.100 7x	0.946 3	3.89(1.75~8.66)	1.00
R1	y=3.661 2+0.768 8x	0.984 6	55.14(36.10~84.20)	14.16
R2	y=3.362 3+0.723 2x	0.970 7	183.85(104.79~322.55)	47.20
R3	y=3.571 1+0.621 6x	0.992 0	198.90(148.48~266.430)	51.07

由表 2、表 3 可知,野慈姑种群 R1、R2、R3 均对苄嘧磺隆和丙噻嘧磺隆产生交互抗性,但 3 个种群对丙噻嘧磺隆的抗性水平明显低于苄嘧磺隆。密山市野慈姑种群对两种药剂抗性水平最高,其次为 856 农场野慈姑种群,对两种药剂抗性水平最低的种群来自佳木斯汤原地区。

2.2 ALS 基因片段测序及序列分析

将 4 个野慈姑种群的 ALS 基因片段与拟南芥基因进行对比后发现,R1、R2、R3 种群供试植株在 ALS 高度保守区域 Domain A 编码 Pro₁₉₇ 的碱基发生不同突变。R1 的 3 个供试植株在 Pro₁₉₇ 位发生相同突变,由 CCC 突变为 ACC,Thr₁₉₇ 取代了 Pro₁₉₇。R2 和 R3 的 6 个供试植株在 Pro₁₉₇ 位发生相同突变,均由 CCC 突变为 TCC,Ser₁₉₇ 取代了 Pro₁₉₇ (表 4)。

使用 Vector NTI Advance® 11.5 软件查看序列峰图,R1、R2、R3 的单株在各自的突变位点处均未发现套峰,说明抗性突变均为纯合突变。

表 4 抗性、敏感野慈姑种群与拟南芥 ALS 基因及其氨基酸的比较
Table 4 DNA and derived amino acid sequences of ALS gene from *Sagittaria trifolia* R and S populations and *Arabidopsis thaliana*

种群 Population	样品 Sample	氨基酸取代 Amino acid substitution 197	
拟南芥	—	CCC	Pro
S	S1、S2、S3	CCC	Pro
R1	R1-1、R1-2、R1-3	ACC	Thr
R2	R2-1、R2-2、R2-3	TCC	Ser
R3	R3-1、R3-2、R3-3	TCC	Ser

3 讨论

对已报道的抗性杂草种群的 ALS 基因突变部位及交互抗性情况进行总结发现,杂草对哪一类 ALS 抑制剂产生抗性与突变位点及取代氨基酸有关。当氨基酸的突变发生在 Ala₁₂₂、Ser₆₅₃ 时杂草对 IMI 类除草剂产生抗性,但对 SU 类除草剂敏感;当氨基酸突变发生在 Pro₁₉₇ 时,杂草对 SU 类除草剂产生高水平抗性;Trp₅₇₄ 氨基酸突变导致杂草对 SU 和 IMI 类除草剂产生高水平抗性;Ala₂₀₅ 被取代会导致杂草对 SU 和 IMI 类除草剂产生抗性,但对 SU 类除草剂的抗性水平不高^[13-14]。本研究结果表明,野慈姑 ALS 基因 Pro₁₉₇ 被丝氨酸或苏氨酸取代导致其对 SU 类除草剂丙噻嘧磺隆产生抗性。

ALS 靶标位点突变导致野慈姑对除草剂产生抗性目前仅报道了 1 个位点,即 Pro₁₉₇ 被取代。

Iwakami 等在日本水稻田首次发现抗性野慈姑 ALS 基因序列上 Pro₁₉₇ 被 Ser₁₉₇ 取代。刘延等 2015 年发现黑龙江省哈局闫家岗农场的野慈姑种群 ALS 序列第 197 位由 CCC 分别突变为 CTC/CCC、TCC,即 Pro₁₉₇ 被 Leu₁₉₇、Ser₁₉₇ 取代,导致野慈姑对吡嘧磺隆抗性达到 4 倍剂量以上。李平生等 2015 年报道,辽宁省两个野慈姑种群 ALS 基因序列上的 Pro₁₉₇ 分别突变为 Leu₁₉₇ 和 Ser₁₉₇,使其对 SU 类除草剂苄嘧磺隆产生了高水平抗性。徐凤认为吉林省延边地区野慈姑种群 ALS 基因序列上 Ser₃₂₄ 突变为 Ala₃₂₄ 可能是其产生抗性的主要原因。本研究结果中,黑龙江 856 农场和密山市水稻田野慈姑种群的 Pro₁₉₇ 被 Ser₁₉₇ 取代,与前人研究结果总体相符。而在黑龙江佳木斯市汤原县水稻田发现的另一种抗性突变,野慈姑种群 ALS 基因的 Pro₁₉₇ 被 Thr₁₉₇ 取代虽然并未在野慈姑种群中报道,但在其他抗性杂草种群中有过报道。2015 年 Xia 等报道 Pro₁₉₇ 被 Thr₁₉₇ 取代导致看麦娘 *Alopecurus aequali* 对磺酰脲类除草剂甲基二磺隆产生抗性^[15]。2013 年 Sada 等报道 Pro₁₉₇ 被 Thr₁₉₇ 取代导致萤蔺 *Schoenoplectus juncooides* 对磺酰脲类除草剂苄嘧磺隆和唑吡嘧磺隆产生抗性^[16]。

黑龙江 856 农场和密山市水稻田野慈姑种群对丙噻嘧磺隆的抗性水平高于佳木斯汤原地区。野慈姑对磺酰脲类除草剂的抗性水平是否与靶标基因 Pro₁₉₇ 位某种特定的氨基酸取代有关还有待进一步研究。本研究仅对靶基因突变进行研究,由非靶标因素引起的抗性还有待进一步研究。

本试验结果显示黑龙江佳木斯汤原地区、856 农场、密山市的野慈姑种群对苄嘧磺隆和丙噻嘧磺隆产生了交互抗性。3 个种群对丙噻嘧磺隆的抗性水平均低于苄嘧磺隆。其原因可能是苄嘧磺隆在黑龙江水稻田应用已超过 20 年,野慈姑种群已对其产生较高抗性。丙噻嘧磺隆 2014 年才在我国上市,野慈姑对丙噻嘧磺隆的抗性是由于苄嘧磺隆选择的结果。

参考文献

[1] 余柳青,韩逢春,玄松南,等. 东北水稻生产与杂草防除[J]. 杂草学报,2009(4):7-10.
[2] 王长方,王俊,陆永良,等. 稻田野慈姑生物学特性及其对水稻产量影响[J]. 福建农业学报,2011,26(4):601-604.
[3] DUGGLEBY R G, MCCOURT J A, GUDDAT L. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase [J]. Plant Physiology & Biochemistry,2008,46(3):309-324.

参考文献

[1] LU Yanhui, WU Kongming, JIANG Yuying, et al. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China [J]. Science, 2010, 328(5982): 1151 - 1154.

[2] 陆宴辉, 吴孔明, 姜玉英, 等. 棉花盲蝽的发生趋势与防控对策[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 150 - 153.

[3] 陆宴辉, 梁革梅, 吴孔明. 棉盲蝽综合治理研究进展[J]. 植物保护, 2007, 33(6): 10 - 15.

[4] 焦瑞莲, 薛彦棠. 绿盲蝽的发生与防治[J]. 山西果树, 2004(3): 49.

[5] 姜玉英, 陆宴辉, 曾娟. 盲蝽分区监测与治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 19 - 26.

[6] 吴静, 刘玉升, 刘俊展. 冬枣园绿盲蝽发生消长规律及危害特点[J]. 植物检疫, 2007, 21(5): 319 - 320.

[7] 李林懋, 门兴元, 叶保华, 等. 绿盲蝽对冬枣不同生长期的为害[J]. 植物保护学报, 2013, 40(6): 545 - 550.

[8] 王振亮, 韩会智, 刘孟军, 等. 枣园绿盲蝽生物学特性研究[J]. 中国森林病虫, 2012, 31(1): 12 - 14.

[9] 姜玉松, 姜奎年, 刘焱, 等. 枣树绿盲蝽的生物学特性及综合防治技术[J]. 落叶果树, 2006(3): 35 - 37.

[10] 王振亮, 韩会智, 刘孟军, 等. 枣园绿盲蝽越冬卵的分布及其孵化规律研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(6): 148 - 152.

[11] 金银利, 封洪强, 张言芳, 等. 河南冬枣和葡萄上绿盲蝽种群的

季节性发生规律[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 149 - 153.

[12] 高梅秀, 田小卫, 刘涛, 等. 绿盲蝽越冬卵在枣园的分布及影响因素研究[J]. 中国果树, 2009(3): 17 - 20.

[13] 张秀梅, 刘小京, 杨艳敏, 等. 绿盲蝽在 Bt 转基因棉及枣树上的发生规律[J]. 华东昆虫学报, 2005(1): 28 - 32.

[14] 朱志建, 潘国良, 朱炜, 等. 樟颈蔓盲蝽生物学特性研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(5): 42 - 45.

[15] 李耀发, 党志红, 高占林, 等. 不同颜色黏板对绿盲蝽的诱杀效果初步研究[M]//中国植物保护学会. 植物保护科技创新与发展——中国植物保护学会 2008 年学术年会论文集. 中国植物保护学会, 2008: 338 - 339.

[16] 宋海燕, 李丽莉, 王凤月, 等. 不同颜色粘虫板对棉田绿盲蝽、中黑盲蝽和赤须盲蝽的诱集效果[J]. 植物保护学报, 2016, 43(5): 713 - 721.

[17] 李耀发, 党志红, 高占林, 等. 河北省沧州棉区绿盲蝽在不同寄主上的动态分布[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 118 - 121.

[18] 李林懋, 门兴元, 叶保华, 等. 果树盲蝽的发生与防控技术[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(3): 793 - 801.

[19] 马兴莉, 宋宏伟, 张真, 等. 河南枣区绿盲蝽发生规律及绿色防控技术[J]. 中国森林病虫, 2016, 35(3): 38 - 41.

[20] 段永春, 董书强, 秦浩, 等. 北方茶园绿盲蝽秋控技术[J]. 中国茶叶, 2017, 39(10): 29.

[21] 徐琪, 王敏鑫, 邵元海. 黄板对茶园末代绿盲蝽种群动态及空间分布型的影响[J]. 茶叶, 2013, 39(3): 134 - 136.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 177 页)

[4] HEAP I. The international survey of herbicide resistant weeds [DB/OL]. <http://www.weedscience.org/Summary/MOA.aspx>. 2018-05-02.

[5] TRANEL P J, RIGGINS C W, BELL M S, et al. Herbicide resistances in *Amaranthus tuberculatus*: a call for new options [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(11): 5808 - 5812.

[6] YUAN J S, TRANEL P J, STEWART C N. Non-target-site herbicide resistance: a family business [J]. Trends in Plant Science, 2007, 12(1): 6 - 13.

[7] IWAKAMI S, WATANABE H, MIURA T, et al. Occurrence of sulfonylurea resistance in *Sagittaria trifolia*, a basal monocot species, based on target-site and non-target-site resistance [J]. Weed Biology & Management, 2014, 14(1): 43 - 49.

[8] 徐凤. 吉林省主要稻区慈姑、雨久花发生状况及慈姑抗药性 ALS 基因突变位点的研究[D]. 延边: 延边大学, 2014.

[9] 吴明根, 刘亮, 时丹, 等. 延边地区稻田抗药性杂草的研究[J]. 延边大学农学报, 2005(1): 14 - 15.

[10] 陈丽丽, 何付丽, 范丹丹, 等. 黑龙江省野慈姑对吡嘧磺隆的敏感性测定[J]. 植物保护, 2013, 39(6): 120 - 123.

[11] 李平生, 魏松红, 纪明山, 等. 野慈姑对 ALS 抑制剂的交互抗药性[J]. 农药, 2015, 54(5): 366 - 368.

[12] 李平生, 魏松红, 纪明山, 等. 辽宁省稻田野慈姑对苄嘧磺隆的抗药性[J]. 植物保护学报, 2015, 42(4): 663 - 668.

[13] 刘延, 刘华招, 高增贵. 野慈姑对吡嘧磺隆抗性的分子机理[J]. 杂草学报, 2015(3): 20 - 23.

[14] BERNASCONI P, WOODWORTH A R, ROSEN B A, et al. A naturally occurring point mutation confers broad range tolerance to herbicides that target acetolactate synthase [J]. Journal of Biological Chemistry, 1995, 270(29): 17381 - 17385.

[15] WHITE A D, GRAHAM M A, OWEN M D K. Isolation of acetolactate synthase homologs in common sunflower [J]. Weed Science, 2003, 51(6): 845 - 853.

[16] XIA Wenwen, PAN Lang, LI Jun, et al. Molecular basis of ALS-and/or ACCase-inhibitor resistance in shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis* Sobol.) [J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2015, 122: 76 - 80.

[17] SADA Y, IKEDA H, KIZAWA S. Resistance levels of sulfonylurea-resistant *Schoenoplectus juncoideus* (Roxb.) Palla with various Pro 197 mutations in acetolactate synthase to imazosulfuron, bensulfuron-methyl, metsulfuron-methyl and imazaquin-ammonium [J]. Weed Biology & Management, 2013, 13(2): 53 - 61.

(责任编辑: 杨明丽)