

黑龙江省稻稗对丁草胺的抗性测定及交互抗性的研究

刘亚光¹ 吴绘鹏¹ 李敏^{1,*} 朱金文² 张苏新¹ 张春鹏¹

(¹东北农业大学 农学院, 哈尔滨 150030; ²浙江大学 农业与生物技术学院, 杭州 310029; *通信联系人, E-mail: lm1067392009@163.com)

Determination of Resistance to Butachlor and Its Cross-resistance in *Echinochloa oryzicola* Vasing in Heilongjiang Province

LIU Yaguang¹, WU Huipeng¹, LI Min^{1,*}, ZHU Jinwen², ZHANG Suxin¹, ZHANG Chunpeng¹

(¹College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; ²College of Agricultural Science and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; *Corresponding author, E-mail: lm1067392009@163.com)

Abstract: 【Objective】In order to identify the resistance of *Echinochloa oryzicola* Vasing in Heilongjiang Province to butachlor and the cross-resistance to other cell division inhibitors, 【Method】the agar culture and the whole-plant pot-culture method were used to determine the resistance level of *Echinochloa oryzicola* Vasing populations collected from 53 plots in 14 areas of Heilongjiang Province to butachlor and the cross-resistance to other three cell-division inhibitors (pretilachlor, mefenacet and anilofos). 【Result】The resistant level of *Echinochloa oryzicola* Vasing to butachlor detected by the agar culture method showed that four populations including Qingan 03 and Dongjingchengzhen 02 have developed a medium level of resistance with resistance indexes ranging from 6.63 to 8.86, accounting for 7.55% of total populations. Four populations, Xinglongzhen 04 and Acheng 04 included, have developed a low level of resistance with resistance indexes between 12.92 and 26.03, accounting for 7.55% of total populations. Five populations such as Qingan 01 and Tangyuan 01 are on the downward trend in sensitivity, with resistance indexes between 3.18 and 4.84, accounting for 9.43% of total populations. Other forty populations such as Acheng 02 are sensitive to butachlor, with resistance indexes less than 3, accounting for 75.47% of total populations. The two biotypes with the highest resistance among the above determinations were selected for the determination of the resistance to butachlor in the whole plant pot culture experiment. It was verified that Qingan 03 and Dongjingchengzheng 02 have also developed a medium level of resistance, with resistance indexes of 16.78 and 13.27, respectively. Meanwhile, the cross-resistance of the two resistant biotypes to pretilachlor, mefenacet and anilofos was tested. Qingan 03 has developed cross-resistance to butachlor and pretilachlor, Dongjingchengzhen 02 has developed cross-resistance to butachlor, pretilachlor and anilofos. 【Conclusion】*Echinochloa oryzicola* Vasing in some areas of Heilongjiang Province have developed resistance to butachlor and cross resistance to pretilachlor and anilofos.

Key words: *Echinochloa oryzicola* Vasing; butachlor; cell-division inhibitors; resistance determination; cross-resistance

摘 要: 【目的】明确黑龙江省水田稻稗(*Echinochloa oryzicola* Vasing)对丁草胺的抗性水平以及对其他细胞分裂抑制剂的交互抗性水平。【方法】采用琼脂法和整株盆栽法测定了黑龙江省 14 个地区 53 个田块的稻稗对丁草胺的抗性以及对其他 3 种细胞分裂抑制剂丙草胺、苯噻酰草胺和莎稗磷的交互抗性。【结果】琼脂法检测出庆安 03、东京城镇 02 等 4 个稻稗生物型对丁草胺产生了中等水平抗性, 抗性指数为 12.92~26.03, 占供试稻稗生物型的 7.55%; 兴隆镇 03、阿城 04 等 4 个稻稗生物型对丁草胺产生了低等水平抗性, 抗性指数为 6.63~8.86, 占供试稻稗生物型的 7.55%; 庆安 01、汤原 01 等 5 个稻稗生物型对丁草胺敏感性下降, 抗性指数为 3.18~4.84, 占供试稻稗生物型的 9.43%; 其余阿城 02、尚志 02 等 40 个稻稗生物型对丁草胺表现敏感, 抗性指数均小于 3, 占供试稻稗生物型的 75.47%。选取上述测定结果当中抗性最高的两个生物型, 使用整株盆栽法进行对丁草胺的抗性水平验证。发现庆安 03 和东京城镇 02 同样产生了中等水平抗性, 抗性指数分别为 16.78 和 13.27; 同时测定两个抗性生物型对丙草胺、苯噻酰草胺和莎稗磷 3 种细胞分裂抑制剂的交互抗性, 结果显示, 庆安 03 稻稗生物型对丁草胺和丙草胺产生了交互抗性; 东京城镇 02 稻稗生物型对丁草胺、丙草胺和莎稗磷产生了交互抗性。【结论】黑龙江省部分地区稻稗对丁草胺产生了抗性, 且对丙草胺和莎稗磷产生了交互抗性。

收稿日期: 2018-12-27; 修改稿收到日期: 2019-07-09。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFD0200307)。

关键词: 稻稗; 丁草胺; 细胞分裂抑制剂; 抗性测定; 交互抗性

中图分类号: S451.21; S482.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2020)01-0088-07

水稻是我国最重要的粮食作物, 种植面积达 2996.2 万 hm^2 , 稻米产量 2.1 亿 t, 约占我国粮食总产量的 33.6%^[1-4]。黑龙江省是我国粮食生产大省, 水稻种植面积达 400 万 hm^2 , 是我国北方水稻种植第一大省^[5]。因此, 黑龙江省水稻的高产稳产对我国的粮食安全具有重大意义。杂草是影响水稻产量和品质的重要因素^[6-7]。据统计, 我国每年因杂草危害造成的水稻产量损失约 1000 万 t, 平均损失率在 15% 左右, 发生严重时甚至减产 50% 以上^[8-9]。稻稗 (*Echinochloa oryzicola* Vasing) 为一年生禾本科稗属杂草, 为世界性恶性杂草, 也是我国水稻主产区中分布最广、危害最严重的杂草之一, 生活习性与水稻极为接近, 对不良环境的适应能力却比水稻强, 因此, 在稻田中一旦出现很难清除^[2-3]。袁明^[10]经调查发现, 当稻田中稻稗密度为 3~5 株/ m^2 时, 可导致水稻减产 2%; 30~50 株/ m^2 时, 可使水稻减产一半以上; 而夹心稻稗对水稻造成的损失更为惊人, 当每穴水稻中有 1 株稻稗时, 就能使水稻减产 45%~56%。

生产中常用丁草胺(Butachlor, 氯代乙酰氨基类)、丙草胺(Pretilachlor, 氯代乙酰氨基类)、苯噻酰草胺(Mefenacet, 氧乙酰氨基类)、莎稗磷(Anilofos, 有机磷类)等药剂防除稻稗, 这四种药剂均属于细胞分裂抑制剂。丁草胺于 1982 年起就在黑龙江省正式开始推广使用, 距今用药时间已超过 35 年^[11]。目前, 全球产生的 430 种杂草抗性生物型中, 有 24 种对脲类/酰胺类除草剂产生了抗性^[12]。随着长期大量单一高频率地使用丁草胺, 我国稻田已先后有多个地区发现了对丁草胺产生抗药性的杂草。黄炳球等^[13]研究报道广东省部分地区稗草已对丁草胺产生了 28.5 倍抗性; 刘兴林^[14]研究发现我国多个地区稗草对丁草胺产生了抗性, 且对丙草胺、异丙甲草胺产生了交互抗性。

本课题组师慧等^[15]于 2013 年检测了黑龙江省 10 个地区稻稗对丁草胺的抗药性情况, 其中牡丹江地区稻稗对丁草胺的抗药性处于低水平抗性阶段, 其他 9 个地区稻稗均对丁草胺表现敏感。经后续监测稻稗对丁草胺的抗药性水平有逐步升高的趋势, 产生抗药性的地区不断增加, 且其他的细胞分裂抑制剂对稻稗的防效也有明显下降的现象, 但关于抗丁草胺稻稗对相同作用机制的丙草胺、苯噻酰草胺和莎稗磷是否产生交互抗性未见报道。因此, 本研

究以黑龙江省 14 个地区 53 个稻稗生物型为研究对象, 采用琼脂法和整株盆栽法相结合的方式, 测定了稻稗对丁草胺的抗药性, 并筛选出抗性最高的两个生物型进行交互抗性的测定。旨在明确黑龙江省稻稗对丁草胺产生抗性的发展和蔓延情况, 并进一步探明抗丁草胺的稻稗是否对其他细胞分裂抑制剂产生了交互抗性。此研究对于目前稻田防治十分困难的稻稗等杂草的治理以及除稗剂科学合理的应用, 具有重要的参考价值和指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试药剂

供试药剂为丁草胺(60%乳油, 美国孟山都公司)、丙草胺(500g/L 乳油, 瑞士先正达公司)、苯噻酰草胺(50%可湿性粉剂, 江苏快达农化股份有限公司)和莎稗磷(300g/L 乳油, 德国拜耳作物科学公司)。

1.1.2 供试杂草种子

供试稻稗种子采集于黑龙江省庆安县、兴隆镇、阿城等 14 个地区的 53 个田块, 所有种子采集晾干后置于 4℃ 冰箱中储存待用。

1.2 方法

1.2.1 琼脂法测定稻稗对丁草胺的抗药性

选取长势饱满、大小均匀的稻稗种子解除休眠。在预实验的基础上, 配制系列浓度 0.0065, 0.026, 0.104, 0.416, 1.664 mL/L 的丁草胺药液。将上述配制好的药液与 0.6% 琼脂液混匀, 装入口径 6 cm, 高 9 cm 的塑料杯中, 待冷却至琼脂床后备用, 设置不添加药剂琼脂液为空白对照, 在各生物型中选取 10 粒萌发的稻稗种子均匀地接种于各处理琼脂床表面, 胚芽保持向上且方向一致, 3 次重复, 杯口覆盖保鲜膜以保持湿润, 置于人工气候培养箱中培养(光照 12 h/黑暗 12 h, 白天 30℃/夜晚 27℃)。处理 72 h 后测量各处理稻稗的芽长, 求出各稻稗生物型 IC_{50} 值, 根据 IC_{50} 值明确各稻稗生物型的抗性水平。

1.2.2 整株盆栽法测定稻稗对丁草胺的抗药性

选取琼脂法中对丁草胺表现最高水平抗性 & 敏感的稻稗种子解除休眠。将未施用过任何除草剂且过筛后的风干土装入直径为 28 cm、高 19 cm 的

表 1 各细胞分裂抑制剂用量
Table 1. Doses of cell-division inhibitors.

用量 Dose			药剂浓度 Concentration			
丙草胺 (g/hm ²)	0	121.875	243.75	487.5	975	1950
苯噻酰草胺 (g/hm ²)	0	131.25	262.5	525	1050	2100
莎稗磷 (g/hm ²)	0	73.125	146.25	292.5	585	1170

塑料盆内，浇足底水。每盆选取 15 粒萌发露白的稻稗种子均匀播种，覆土 1 cm，浇水至桶中保持 3~5 cm 的水层，于室外自然条件下进行培养。丁草胺各处理有效剂量分别为 112，337，1012，3036，9108 g/hm² 的丁草胺药液。稻稗播种后 1 d，用注射器抽取定量药液于水层浑浊状态下均匀施于塑料盆内，以清水处理为对照，设 3 次重复。药后 21 d 剪取稻稗地上部分，称量鲜质量，计算鲜质量抑制率，求出各稻稗生物型的 *ED*₅₀ 值，计算抗性指数。

1.2.3 抗丁草胺稻稗对其他细胞分裂抑制剂的交互抗性测定

采用整株盆栽法测定抗丁草胺稻稗对细胞分裂抑制剂的交互抗性，试验方法同 1.2.2。分别配制丙草胺、苯噻酰草胺、莎稗磷系列浓度药液(表 1)。稻稗播种后 1 d，分别用注射器抽取定量丙草胺、苯噻酰草胺于水层浑浊状态下均匀施于桶内；待稻稗长至 3 叶 1 心期时，使用背负式电动喷雾器对稻稗进行莎稗磷喷雾处理，以清水处理为对照，设 3 次重复。药后 21 d 剪取稻稗地上部分，称量鲜质量，计算鲜质量抑制率，求出各稻稗生物型的 *ED*₅₀ 值，计算抗性指数。

1.3 数据处理分析方法

采用 DPS 7.05 软件进行统计分析，求出毒力回归方程，并且求出除草剂对稻稗的 *IC*₅₀ 或 *ED*₅₀ 值。计算公式如下：

抗性指数(*RI*)=抗性生物型 *IC*₅₀(*ED*₅₀)/敏感生物型 *IC*₅₀(*ED*₅₀)。

以 *IC*₅₀(*ED*₅₀)值最小的稻稗生物型为敏感型生物型，计算得出各稻稗生物型的抗性指数 *RI*。抗性指数 *RI* 越大，表示该稻稗生物型的抗性水平越高^[16-17]。

抗药性分级标准参照参考文献[18-19]，*RI* 值 < 3 时，杂草对除草剂表现敏感；*RI* 值在 3~5 时，处于敏感性下降阶段；*RI* 值在 5~10 时，处于低水平抗性阶段；*RI* 值在 10~40 时，处于中等水平抗性阶段；*RI* 值在 40~160 时，处于高等水平抗性；当抗性指数大于 160 时，处于极高水平抗性阶段。

2 结果与分析

2.1 抗性检测

2.1.1 琼脂法测定稻稗对丁草胺的抗性

由表 2 可知，黑龙江省多个地区稻稗已经对丁草胺产生了抗药性，稻稗生物型之间抗性指数差异较大。阿城 02 生物型对丁草胺表现最敏感，其 *IC*₅₀ 值为 0.0106 mL/L，将此生物型设定为敏感生物型，供试 53 个稻稗生物型中，抗性生物型 13 个，占比总采样数 24.53%。其中，庆安 03、东京城镇 02、东京城镇 01 和东京城镇 04 四个稻稗生物型对丁草胺产生了中等水平抗性，占比 7.55%，抗性指数分别为 26.03、20.94、14.12 和 12.92；兴隆镇 03、阿城 04、五常 01 和五常 04 四个稻稗生物型对丁草胺产生了低水平抗性，占比 7.55%，抗性指数分别为 8.86、7.30、6.75 和 6.63；庆安 01、汤原 01、庆安 02、五常 02 和东京城镇 06 五个稻稗生物型处于敏感性下降阶段，占比 9.43%，抗性指数分别为 4.84、4.36、4.33、3.92 和 3.18；上集镇 02、兴隆镇 04 等其余 40 个稻稗生物型的抗性指数小于 3，未对丁草胺产生抗药性。

2.1.2 整株盆栽法测定稻稗对丁草胺的抗性

以阿城 02 稻稗生物型作为敏感对照，选取上述抗性最高的庆安 03 和东京城镇 02 稻稗生物型进行整株盆栽法验证稻稗对丁草胺的抗药性水平，结果如表 3 所示，庆安 03 和东京城镇 02 稻稗抗性指数分别为 16.78 和 13.27，其 *ED*₅₀ 值分别为 3819.5309g/hm² 和 3021.6911g/hm²，处于中等水平抗性阶段。所得抗性分级与琼脂法测定结果一致，均处于中等水平抗性阶段。

2.2 抗性稻稗对其他细胞分裂抑制剂交互抗性的测定

选取 2.1.2 中所用敏感和抗性稻稗生物型进行交互抗性的测定，测定结果如表 4 所示。庆安 03 和东京城镇 02 对丙草胺产生了低水平抗性，抗性指数分别为 5.18 和 6.95；庆安 03 和东京城镇 02 对苯噻酰草胺的 *ED*₅₀ 值分别为 323.2285 g/hm² 和

表 2 琼脂法测定稻稗对丁草胺的抗药性
Table 2. Resistance of *Echinochloa oryzicola* Vasing to butachlor by Agar method.

序号 Number	生物型 Biol types	回归方程($Y=bx+a$) Regression formula	相关系数(R^2) Correlation coefficient	IC_{50} /(mL L ⁻¹)	95%置信区间 95 % confidence interval of IC_{50}	抗性指数 Resistant index (RI)
1	庆安 03 Qingan 03	$Y=0.6249x+5.3495$	0.9977	0.2759	0.2333—0.3262	26.03
2	东京城镇 02 Dongjingchengzhen 02	$Y=0.7161x+5.4681$	0.9881	0.2220	0.1532—0.3216	20.94
3	东京城镇 01 Dongjingchengzhen 01	$Y=0.8097x+5.6677$	0.9509	0.1497	0.0719—0.3120	14.12
4	东京城镇 04 Dongjingchengzhen 04	$Y=0.5719x+5.4937$	0.9949	0.1370	0.1092—0.1719	12.92
5	兴隆镇 03 Xinglongzhen 03	$Y=0.6036x+5.6202$	0.9964	0.0939	0.0777—0.1133	8.86
6	阿城 04 Acheng 04	$Y=0.5032x+5.5592$	0.9745	0.0774	0.0462—0.1297	7.30
7	五常 01 Wuchang 01	$Y=0.6321x+5.7243$	0.9940	0.0715	0.0558—0.0915	6.75
8	五常 04 Wuchang 04	$Y=0.7573x+5.8731$	0.9962	0.0703	0.0577—0.0858	6.63
9	庆安 01 Qingan 01	$Y=0.7769x+6.0019$	0.9980	0.0513	0.0442—0.0597	4.84
10	汤原 01 Tangyuan 01	$Y=0.4799x+5.6407$	0.9916	0.0462	0.0338—0.0632	4.36
11	庆安 02 Qingan 02	$Y=0.8115x+6.0861$	0.9889	0.0459	0.0320—0.0658	4.33
12	五常 02 Wuchang 02	$Y=0.6557x+5.9063$	0.9838	0.0415	0.0266—0.0648	3.92
13	东京城镇 06 Dongjingchengzhen 06	$Y=0.5756x+5.8474$	0.9970	0.0337	0.0276—0.0412	3.18
14	上集镇 02 Shangjizhen 02	$Y=0.5422x+5.8246$	0.9929	0.0301	0.0220—0.0413	2.84
15	兴隆镇 04 Xinglongzhen 04	$Y=0.6402x+5.9935$	0.9921	0.0281	0.0200—0.0393	2.65
16	兴隆镇 02 Xinglongzhen 02	$Y=0.5921x+5.922$	0.9891	0.0277	0.0186—0.0413	2.61
17	阿城 03 Acheng 03	$Y=0.6678x+6.0432$	0.9945	0.0274	0.0207—0.0363	2.58
18	海林 04 Hailin 04	$Y=0.6681x+6.0488$	0.9968	0.0269	0.0217—0.0335	2.54
19	五常 03 Wuchang 03	$Y=0.4909x+5.7742$	0.9687	0.0265	0.0132—0.0529	2.50
20	汤原 03 Tangyuan 03	$Y=0.4187x+5.6701$	0.9895	0.0251	0.0168—0.0374	2.37
21	东京城镇 03 Dongjingchengzhen 03	$Y=0.6216x+5.9989$	0.9664	0.0247	0.0119—0.0514	2.33
22	庆安 04 Qingan 04	$Y=0.6298x+6.0237$	0.9915	0.0237	0.0165—0.0341	2.24
23	汤原 02 Tangyuan 02	$Y=0.3882x+5.6343$	0.9988	0.0232	0.0203—0.0266	2.19
24	穆棱 01 Muleng 01	$Y=0.5035x+5.8225$	0.9931	0.0232	0.0167—0.0323	2.19
25	东京城镇 07 Dongjingchengzhen 07	$Y=0.4979x+5.8154$	0.9940	0.0230	0.0169—0.0313	2.17
26	友谊农场 03 Youyinongchang 03	$Y=0.5335x+5.8759$	0.9965	0.0228	0.0180—0.0289	2.15
27	穆棱 04 Muleng 04	$Y=0.4784x+5.787$	0.9925	0.0226	0.0160—0.0320	2.13
28	上集镇 03 Shangjizhen 03	$Y=0.4824x+5.8069$	0.9978	0.0213	0.0176—0.0257	2.01
29	853 农场 01 853 nongchang 01	$Y=0.5656x+5.951$	0.9989	0.0208	0.0182—0.0238	1.96
30	兴凯湖 01 Xingkaihu 01	$Y=0.5636x+5.9508$	0.9900	0.0206	0.0137—0.0310	1.94
31	穆棱 02 Muleng 02	$Y=0.5192x+5.8805$	0.9985	0.0201	0.0172—0.0236	1.90
32	佳木斯 02 Jiamusi 02	$Y=0.6503x+6.107$	0.9961	0.0198	0.0153—0.0257	1.87
33	853 农场 02 853 nongchang 02	$Y=0.646x+6.1073$	0.9892	0.0193	0.0125—0.0298	1.82
34	穆棱 05 Muleng 05	$Y=0.4825x+5.8287$	0.9959	0.0192	0.0147—0.0250	1.81
35	尚志 01 Shangzhi 01	$Y=0.5203x+5.8939$	0.9913	0.0191	0.0130—0.0283	1.80
36	阿城 01 Acheng 01	$Y=0.4779x+5.8312$	0.9889	0.0182	0.0117—0.0285	1.72
37	友谊农场 02 Youyinongchang 02	$Y=0.6096x+6.0661$	0.9740	0.0178	0.0089—0.0357	1.68
38	海林 03 Hailin 03	$Y=0.5763x+6.0181$	0.9898	0.0171	0.0111—0.0264	1.61
39	海林 02 Hailin 02	$Y=0.5845x+6.0352$	0.9712	0.0169	0.0081—0.0355	1.59
40	友谊农场 01 Youyinongchang 01	$Y=0.4714x+5.8371$	0.9928	0.0168	0.0116—0.0242	1.58
41	佳木斯 01 Jiamusi 01	$Y=0.5176x+5.9181$	0.9957	0.0168	0.0127—0.0223	1.58
42	东京城镇 05 Dongjingchengzhen 05	$Y=0.4935x+5.8794$	0.9961	0.0165	0.0126—0.0217	1.56
43	五常 05 Wuchang 05	$Y=0.4696x+5.8397$	0.9860	0.0163	0.0097—0.0273	1.54
44	上集镇 04 Shangjizhen 04	$Y=0.6508x+6.1747$	0.9790	0.0157	0.0082—0.0298	1.48
45	853 农场 03 853 nongchang 03	$Y=0.7087x+6.2852$	0.9982	0.0154	0.0127—0.0185	1.45
46	上集镇 01 Shangjizhen 01	$Y=0.4217x+5.7735$	0.9782	0.0146	0.0075—0.0285	1.38
47	兴隆镇 01 Xinglongzhen 01	$Y=0.4694x+5.8867$	0.9875	0.0129	0.0077—0.0216	1.22
48	友谊农场 05 Youyinongchang 05	$Y=0.436x+5.8249$	0.9800	0.0128	0.0066—0.0248	1.21
49	兴凯湖 02 Xingkaihu 02	$Y=0.4115x+5.7806$	0.9885	0.0127	0.0077—0.0208	1.20
50	穆棱 03 Muleng 03	$Y=0.4815x+5.9147$	0.9874	0.0126	0.0075—0.0212	1.19
51	海林 01 Hailin 01	$Y=0.495x+5.948$	0.9930	0.0122	0.0082—0.0180	1.15
52	尚志 02 Shangzhi 02	$Y=0.4834x+5.9385$	0.9808	0.0114	0.0059—0.0222	1.08
53	阿城 02 Acheng 02	$Y=0.293x+5.578$	0.9872	0.0106	0.0061—0.0184	1.00

表 3 整株盆栽法测定稻稗对丁草胺的抗药性

Table 3. Resistance of *Echinochloa oryzicola* Vasing to butachlor by the whole plant method.

生物型 Biotype	回归方程 Regression formula	相关系数(R^2) Correlation coefficient	ED_{50} /(g hm ⁻²)	95%置信区间 95 % confidence interval of ED_{50}	抗性指数 Resistant index(RI)
庆安 03 Qingan 03	$Y=0.7056x+2.4725$	0.9940	3819.5309	2958.367—4931.375	16.78
东京城镇 02 Dongjingchengzhen 02	$Y=0.8711x+1.9682$	0.9903	3021.6911	2233.694—4087.676	13.27
阿城 02 Acheng 02	$Y=0.7716x+3.1811$	0.9879	227.6830	155.3234—333.7524	1.00

表 4 代表性抗感稻稗生物型对细胞分裂抑制剂的交互抗药性

Table 4. Cross-resistance of *Echinochloa oryzicola* Vasing to cell division inhibitors.

除草剂 Herbicide	生物型 Biotype	回归方程 Regression formula	相关系数(R^2) Correlation coefficient	ED_{50} /(g hm ⁻²)	95%置信区间 95 % confidence interval of ED_{50}	抗性指数 Resistant index (RI)
丙草胺 Pretilachlor	庆安 03 Qingan 03	$Y=1.1361x+1.9423$	0.9908	491.4292	422.2735—571.91.6	5.18
	东京城镇 02 Dongjingchengzhen 02	$Y=1.0360x+2.0791$	0.9956	659.7246	591.5491—735.7573	6.95
苯噻酰草胺 Mefenacet	阿城 02 Acheng 02	$Y=1.0662x+2.8917$	0.9660	94.9307	53.2977—169.0851	1.00
	庆安 03 Qingan 03	$Y=1.2027x+1.9817$	0.9959	323.2285	288.6882—361.9013	1.71
莎稗磷 Anilafos	东京城镇 02 Dongjingchengzhen 02	$Y=1.5450x+1.3599$	0.9934	227.0363	191.8382—268.6925	1.20
	阿城 02 Acheng 02	$Y=1.6711x+1.1976$	0.9960	188.5294	163.3690—217.2589	1.00
莎稗磷 Anilafos	庆安 03 Qingan 03	$Y=1.1553x+2.4761$	0.9904	152.9523	126.9846—184.23	1.96
	东京城镇 02 Dongjingchengzhen 02	$Y=0.9592x+2.5008$	0.9795	403.1019	317.1559—512.3383	5.18
阿城 02 Acheng 02	阿城 02 Acheng 02	$Y=1.3321x+2.4805$	0.9800	77.8810	53.3643—113.6612	1.00

227.0363g/hm², 抗性指数分别为 1.71 和 1.20, 表明两种稻稗生物型对苯噻酰草胺处于敏感阶段; 庆安 03 对莎稗磷的抗性指数为 1.96, 处于敏感阶段, 而东京城镇 02 的抗性指数为 5.18, 表明对莎稗磷产生了低等水平抗性。

综合表 3 和表 4 可知, 庆安 03 对丁草胺产生了中等水平抗性, 对丙草胺产生了低水平抗性, 对苯噻酰草胺和莎稗磷表现敏感。因此, 庆安 03 对丁草胺和丙草胺产生了交互抗性, 对苯噻酰草胺和莎稗磷未产生交互抗性; 东京城镇 02 对丁草胺产生了中等水平抗性, 对丙草胺和莎稗磷产生了低水平抗性, 对苯噻酰草胺表现敏感。因此, 东京城镇 02 对丁草胺、丙草胺和莎稗磷三种除草剂产生了交互抗性, 对苯噻酰草胺未产生交互抗性。

3 讨论

本研究结果表明, 黑龙江省 14 个地区 53 个稻稗生物型中有 4 个生物型对丁草胺产生了中等水平抗性, 4 个生物型产生了低水平抗性, 还有 5 个生物型正处于敏感性下降的阶段, 其他 40 个生物型没有产生抗性。此研究结果与本课题组 2013 年调查结果对比, 抗性种群占比由 10% 上升到 24.53%, 抗性水平从低等水平抗性上升到中等水平抗性, 说明抗性稻稗分布范围明显增加, 且抗性水平有明显上升的趋势^[15]。丁草胺在黑龙江省水田用于防除禾

本科杂草已有 30 多年的历史, 由于其价格较低、防效较好, 在市场上仍有很大的占有量。2017 年黑龙江省丁草胺用量已达 1100 多 t, 排在所有水田除草剂用量的第三位。为了保障稻稗的防除效果, 生产中增加丁草胺使用剂量的现象非常普遍。但增加使用剂量后, 一方面成本增加, 另一方面促进了抗性稻稗的发生和蔓延^[20]。

从我国农业生产实践来看, 当丁草胺使用年限在 5 年以下时, 稗草的抗性情况不明显; 但是, 当丁草胺使用年限超过 8 年, 稗草的防效严重下降, 产生显著的抗药性^[21]。本研究的庆安和东京城镇稻稗抗性生物型均属于牡丹江地区, 该地区系黑龙江省的老稻区, 使用丁草胺年限已达 20 年以上, 使用年限长是该地区稻稗对丁草胺产生抗药性的主要原因。经琼脂法检测抗性水平较高的稻稗生物型集中在兴隆镇、阿城和五常等地区, 以上地区都是黑龙江省的水稻主产区, 应用丁草胺的历史都在 10 年以上。因此, 本研究结果表明稻稗对丁草胺产生抗药性与丁草胺使用年限有着密切的关系。

交互抗性是指杂草对 2 种或 2 种以上具有相同或类似作用机制的除草剂都产生抗药性的现象^[22-24]。丁草胺和丙草胺属植物细胞有丝分裂抑制剂, 它们的作用机理为通过杂草幼芽和幼小的次生根吸收, 抑制体内蛋白质合成, 使杂草幼株肿大、畸形, 色深绿, 最终导致死亡。苯噻酰草胺主要通过杂草的芽鞘和根吸收, 经木质部和韧皮部传导至杂草的幼芽

和嫩叶, 阻止杂草生长点细胞分裂伸长, 对细胞特别是母细胞起到抑制细胞分裂、增大的作用, 从而阻碍杂草生长直至死亡。莎稗磷主要通过植物的幼芽和地下茎吸收, 抑制细胞分裂与伸长, 也属细胞分裂抑制剂。因此, 以上四种药剂作用机制相同或类似, 若杂草对其中两种除草剂产生了抗药性, 就可以称为产生了交互抗性。本研究发现庆安 03 稻稗生物型对丁草胺和丙草胺产生了交互抗性; 东京城镇 02 稻稗生物型对丁草胺、丙草胺和莎稗磷产生了交互抗性。以上两个稻稗生物型均未对苯噻酰草胺产生交互抗性, 可能是因为苯噻酰草胺登记时间较晚, 在黑龙江省应用也较丁草胺晚 10 年以上, 且防除稻稗常与苄嘧磺隆混用, 用药量相对较低, 仍然是目前防除稻稗的主要药剂之一。但生产中也要合理使用, 避免其产生交互抗性^[25-26]; 丙草胺在黑龙江省的应用历史超过了 25 年, 和丁草胺同属氯代乙酰氨基类除草剂, 其作用方式和代谢途径与丁草胺大体一致, 这可能是抗丁草胺的稻稗对其产生交互抗性的主要原因^[27]; 莎稗磷属有机磷类除草剂, 在黑龙江省的用药量较大, 应用历史也超过 20 年, 且二者均属细胞分裂抑制剂, 因此产生交互抗性也是必然^[28]。

因此, 对于抗性稻稗的治理提出以下几点建议: 扩大抗性稻稗监测范围, 增加监测抗性的除草剂品种, 测定交互抗性和多抗性的发生情况, 分析抗性稻稗发展规律, 采取应对措施, 力争将抗性稻稗控制在低等抗性水平以下^[29]; 在未产生抗性地区或者新开垦的稻区不盲目增加丁草胺及细胞分裂抑制剂的使用剂量, 并建议与其他作用机制的除草剂轮用、混用, 如与三唑并嘧啶磺酰胺类的五氟磺草胺、芳氧基苯氧基丙酸类的氰氟草酯等除草剂混用, 减缓抗药性产生; 在已经产生抗药性的稻区, 停止单独使用丁草胺等细胞分裂抑制剂, 具有多作用位点、不同作用机理的除草剂有序交替使用或混用; 通过提高喷雾技术, 添加喷雾助剂及增效剂等措施, 提高利用率来降低除草剂用量, 达到延缓抗药性发展的目的; 在经济防除阈值之上使用除草剂, 同时结合作物轮作、土壤耕作、水肥管理等措施进行综合治理, 降低稻稗抗药性进一步发展的风险。

参考文献:

- [1] Maclean J L, Dawe D C, Hardy B, Hettel G P. Rice Almanac: Source book for the most important economic activity on earth[M]. 3rd ed. Wallingford UK: CABI Publishing, 2002: 110.
- [2] 周锡跃, 徐春春, 李凤博, 方福平. 世界水稻产业发展现状、趋势及对我国的启示[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(5): 525-528.
Zhou X Y, Xu C C, Li X B, Fang F P. Status and trends of world's rice industry development and its enlightenment to china[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(5): 525-528.
- [3] 于改莲. 稻田除草剂的正确施用方法[J]. 农药, 2001, 40(12): 43-45.
Yu G L. Correct application of herbicides in paddy fields[J]. *Agrochemicals*, 2001, 40(12): 43-45.
- [4] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴 2017[DB/L]. [2018-05-30]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2017/indexch.htm>.
Statistics Bureau of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2017[DB/L]. [2018-05-30]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2017/indexch.htm>.
- [5] 于清涛, 肖佳雷, 龙江雨, 王宗涛, 赵璞, 宋伟丰. 黑龙江省水稻生产现状及其发展趋势[J]. 中国种业, 2011(7): 12-14.
Yu Q T, Xiao J L, Long J Y, Wang Z T, Zhao P, Song W F. Current situation and development trend of rice production in Heilongjiang Province[J]. *China Seed Industry*, 2011(7): 12-14. (in Chinese)
- [6] 郑和斌. 湖南省稻田杂草发生情况及防除技术[J]. 湖南农业科学, 2013(22): 54-55.
Zheng H B. Occurrence and control technology of weeds in paddy field in Hunan Province[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(22): 54-55. (in Chinese)
- [7] 高彩霞. 水稻田杂草防除技术要点[J]. 农业与技术, 2016, 36(21): 128-129.
Gao C X. Key points of weed control technology in paddy field[J]. *Agriculture and Technology*, 2016, 36(21): 128-129. (in Chinese)
- [8] 宋广花, 王启泉, 罗春华. 韩乐天对稻稗等难防治杂草的防除效果[J]. 垦殖与稻作, 2006 (4): 49-50.
Song G H, Wang Q Q, Luo C H. Control effect of pyribenzoxim on difficult weeds[J]. *Reclaiming and Rice Cultivation*, 2006 (4): 49-50.
- [9] 唐洪元. 中国农田杂草[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 1991: 6-12, 36-44, 155-161, 285-465.
Tang H Y. China Weeds[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Publishing House, 1991: 6-12, 36-44, 155-161, 285-465.
- [10] 袁明. 稻稗的发生及防治. 农村实用科技信息[J], 2007: 28-28.
Yuan M. Occurrence and control of *Echinochloa oryzicola* Vasing. *Modern Agriculture Research*[J], 2007: 28-28.
- [11] 冯蕾. 黑龙江省水田稻稗对四种除草剂抗药性的初步研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
Feng L. Study on the resistance of *Echinochloa oryzicola* Vasing to four herbicides in paddy rice of Heilongjiang Province[D]. Harbin: Northeast Agricultural University,

- 2013.
- [12] Heap I M. The international survey of herbicide resistant weeds[EB/OL]. [2014-04-21]. [http://www. weedscience. org/Graphs/SOAGraph. aspx](http://www.weedscience.org/Graphs/SOAGraph.aspx).
- [13] 黄炳球, 李双权, 黎明东, 肖寒, 廖庆生. 广东省稻田稗草的抗药性状况研究[J]. 广东农业科学, 1995(3): 41-44.
- Huang B Q, Li S Q, Li M D, Xiao H, Liao Q S. Study on the resistance of barnyardgrass in paddy field of Guangdong Province[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1995(3): 41-44.
- [14] 刘兴林. 我国水稻田稗草对丁草胺的抗药性研究[D]. 广州: 华南农业大学
- Liu X L. Resistance of barnyard grass to butachlor in paddy fields in China[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [15] 师慧, 冯蕾, 刘蓝坤, 李威, 井秋月, 刘冰, 刘亚光. 黑龙江省水田稻稗对丁草胺的敏感性[J]. 杂草学报, 2013, 31(4): 21-24.
- Shi H, Feng L, Liu L K, Li W, Jing Q Y, Liu B, Liu Y G. Sensitivity of rice and *Echinochloa oryzicola* Vasing. to butachlor in paddies of Heilongjiang Province[J]. *Journal of Weed Science*, 2013, 31(4): 21-24.
- [16] 李永丰, 吴竞仑, 王庆亚, 刘丽萍. 日本看麦娘对氯磺隆的抗药性研究[J]. 杂草科学, 2003(4): 5-6.
- Li Y F, Wu J L, Wang Q Y, Liu L P. Study on the resistance of *Amaranthus japonicus* to chlorsulfuron[J]. *Journal of Weed Science*, 2003(4): 5-6.
- [17] 黄媛媛, 纪明山. 辽宁省不同地区的反枝苋对氯磺隆抗药性研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(4): 61-62.
- Huang Y Y, Ji M S. Research on resistance of redroot pigweed to chlorimuron-ethyl in several areas of Liaoning[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(4): 61-62.
- [18] 沈晋良, 吴益东. 棉铃虫抗药性及其治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Shen J L, Wu Y D. Resistance and Control of *Helicoverpa armigera*[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1995.
- [19] 吴声敢, 赵学平, 吴长兴, 陈丽萍, 沈晋良, 王强. 我国长江中下游稻区稗草对二氯喹啉酸的抗药性研究[J]. 杂草科学, 2007, 27(3): 25-26.
- Wu S G, Zhao X P, Wu C X, Chen L P, Shen J L, Wang Q. Resistance of barnyard grass to Quinclorac in the middle and lower reaches of the Yangtze River in China[J]. *Journal of Weed Science*, 2007, 27(3): 25-26.
- [20] 罗沙. 湖南省部分稻区稗草抗性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- Luo S. The Drug Resistance of Barnyard-grass in Part of Rice Fields in Hunan Province[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.
- [21] 黄炳球, 林韶湘. 我国稻田稗草对丁草胺的抗药性研究[J]. 华南农业大学学报, 1993(1): 103-108.
- Huang B Q, Lin S X. Resistance of barnyard grass to butachlor in paddy fields in China[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1993(1): 103-108.
- [22] Alia M M N, Hassan N M. Recognition, implication and management of plant resistance to herbicides[J]. *American Journal of Plant Physiology*, 2008, 3(2): C31-C31.
- [23] Christophe D éye. Weed resistance to acetyl coenzyme a carboxylase inhibitors: An update[J]. *Weed Science*, 2005, 53(5): 728-746.
- [24] 张朝贤, 倪汉文, 魏守辉, 黄红娟, 刘延, 崔海兰. 杂草抗药性研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1274-1289.
- Zhang C X, Ni H W, Wei S H, Huang H J, Liu Y, Cui H L. Advances in research on weed resistance to heibicides[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(4): 1274-1289.
- [25] 新型稻田除草剂苯噻酰草胺及其混剂. 农药登记公告, 1999(1).
- A new type of rice herbicide mefenacet and its mixture. *Pesticide Registration Public Announcement*, 1999(1).
- [26] 过戌吉. 丁草胺除草剂市场动态综述. 农药市场信息, 2002(10): 13-13.
- GUO X J. Overview of market trends of butachlor. *Pesticide Market News*, 2002(10): 13-13.
- [27] 过戌吉. 丙草胺除草剂登记有所发展. 农药市场信息, 2006(6).
- Guo X J. Pretilachlor registration developed. *Pesticide Market News*, 2006(6).
- [28] 刘刚. 莎稗磷原药产品最新登记动态. 农药市场信息[J], 2010(32): 27.
- Liu G. Recent registration trends of anilofos. *Pesticide Market News*[J], 2010(32): 27.
- [29] 刘兴林, 孙涛, 付声蛟, 钟国华. 稻田稗草对酰胺类除草剂抗药性研究进展[J]. 浙江农业科学, 2014, 1(8): 1224-1231.
- Liu X L, Sun T, Fu S J, Zhong G H. Research progress on resistance of barnyard grass to amide herbicides in paddy fields[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2014, 1(8): 1224-1231.