

## 二化螟对杀虫单抗性现实遗传力与遗传方式

曹明章<sup>1,2</sup> 沈晋良<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学 植物保护学院 农药系, 农业部病虫害监测与治理重点开放实验室, 江苏 南京 210095; <sup>2</sup>江苏省农药研究所, 江苏 南京 210036; \*通讯联系人, E-mail: jlshen@public1.ptt.js.cn)

### Realized Heritability and Inheritance Mode of Monosultap Resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae)

CAO Ming-zhang<sup>1,2</sup>, SHEN Jin-liang<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Disease and Insects, Ministry of Agriculture; Department of Pesticide Science, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Jiangsu Pesticide Research Institute, Nanjing 210036, China; \*Corresponding author, E-mail: jlshen@public1.ptt.js.cn)

**Abstract:** A colony of the striped stem borer, *Chilo suppressalis*, collected from Wenzhou, Zhejiang Province, was further selected in laboratory with monosultap using topical application method. After selection with monosultap for 19 generations in 24 generations of laboratory culture, resistance to monosultap in the selected strain (WZ-R) increased by 25.0-fold, and 774.5-fold compared with that of the pre-selected and the susceptible baseline of HLJ strain, respectively. The realized heritability ( $h^2$ ) estimated from early selection stage (0.230 for  $F_3 - F_8$ , consecutive selection for 6 generations) was significantly smaller than that from later stage (1.205 for  $F_{19} - F_{23}$ , consecutive selection for 5 generations), while the  $h^2$  estimated from middle inconsecutive selection stage ( $F_9 - F_{18}$ , during which there were a total of 4 generations without selection) was the smallest (0.024). Inheritance of monosultap resistance in WZ-R strain, studied by log dose-probit (LD<sub>p</sub>) analysis for progenies of reciprocal crosses, two backcrosses and a  $F_1$  self-cross indicated that resistance to monosultap was inherited autosomally in an incompletely dominant manner, with a degree of dominance for reciprocal cross  $F_1$ s being 0.56 and 0.63, respectively, and monosultap resistance in WZ-R appeared to be controlled by two or more genes.

**Key words:** *Chilo suppressalis*; resistance; realized heritability; inheritance; monosultap

**摘要:** 以 2001 年田间采集的温州二化螟为起始种群,在室内饲养 24 代期间,用点滴法处理 4 龄幼虫进行杀虫单筛选 19 代,得到抗性品系 WZ-R;与敏感基线相比,WZ-R 品系对杀虫单抗性达 774.5 倍,比筛选前上升 25.0 倍;根据前期连续 6 代( $F_3 \sim F_8$ )筛选估计的抗性现实遗传力( $h^2$  0.230)显著低于根据后期连续 5 代( $F_{19} \sim F_{23}$ )筛选的  $h^2$  (1.205),而中间不连续筛选( $F_9 \sim F_{18}$ ,10 代中有 4 代未筛选)的  $h^2$  最小(0.024)。用毒力回归线法对 WZ-R 品系进行抗性遗传分析表明,杀虫单抗性为不完全显性(正反交显性度分别为 0.56 和 0.63)、常染色体遗传,抗性不属于单个主基因控制。

**关键词:** 二化螟; 抗性; 现实遗传力; 遗传; 杀虫单

中图分类号: Q963; S435.112+.1; S481+.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2005)05-0447-06

1974 年,我国贵州省化工研究所首次发现了杀虫双对水稻螟虫的杀虫活性,并成功将它开发。杀虫单与杀虫双母体结构相同,均属沙蚕毒素类化合物。1983 年六六六停产后,杀虫单(双)因对人畜和水生生物安全、对螟虫和稻纵卷叶螟高效、价格低,成为近 20 年来防治水稻螟虫的首选药剂,在很多地区呈连续单一使用局面<sup>[1]</sup>。这样带来的不良后果之一,就是害虫产生抗药性。1995 年前监测到二化螟对杀虫单(双)的抗性在中等水平以下<sup>[2]</sup>,但 1998 年后陆续监测到一些种群(尤其是浙江省)对杀虫单产生了很高水平抗性<sup>[3-5]</sup>,同时很多地区也反映田间防治二化螟效果明显下降。有关二化螟对杀虫单抗性涉及的生化基础和靶标分子生物学,已有初步探

索<sup>[6,7]</sup>,而杀虫单抗性遗传尚未见报道。为此,作者选用对杀虫单有中等水平抗性的田间种群,用杀虫单进行室内抗性筛选,估计抗性现实遗传力,并用获得的极高抗品系与室内敏感品系进行遗传杂交试验,分析二化螟对杀虫单抗性的遗传方式,为杀虫单抗性二化螟的治理提供理论依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 试 虫

以 2001 年采自浙江省温州市瓯海区临山镇横

收稿日期: 2004-12-30; 修改稿收到日期: 2005-04-08。

基金项目: 江苏省十五科技攻关资助项目(BE2001354)。

第一作者简介: 曹明章(1965-),男,在职博士研究生。

山村早稻秧田的二化螟为杀虫单室内抗性筛选的起始种群,该种群对杀虫单抗性为中等水平 ( $RR = 29.7$  倍)<sup>[5]</sup>,经 19 代筛选后的品系称为杀虫单抗性品系 (WZ-R),供遗传分析试验用。遗传试验的敏感品系 (HLJ) 于 2002 年采自黑龙江五常市,室内不接触任何药剂情况下连续饲养。所有试虫的室内饲养,均参照尚稚珍等<sup>[8]</sup>水稻种苗法进行;饲养条件:温度 ( $28 \pm 1$ ) ,光照周期 16 h 光照 8 h 黑暗。

## 1.2 供试药剂

97% 杀虫单原药,由江苏溧阳化工厂生产。

## 1.3 抗性筛选与毒力测定方法

室内抗性筛选和毒力测定均采用 4 龄幼虫点滴法<sup>[5]</sup>,筛选处理剂量根据试虫敏感性变化和虫量确定,除个别代次外,死亡率控制在 30% ~ 60%,全程筛选所用剂量范围为 7.68 ~ 71.68  $\mu\text{g}/\text{头}$ ,每代筛选处理幼虫总数为 700 ~ 2760 头。毒力测定资料用农业部病虫监测与治理重点实验室编制的生物测定数据统计与管理系统按几率值分析法计算<sup>[5]</sup>。

## 1.4 现实遗传力估计

现实遗传力 ( $h^2$ ) 的估算根据 Tabashnik 和 McCaughey<sup>[9]</sup>介绍的分析方法。

## 1.5 抗性遗传分析

采用群体交配法,每组合每种性别 50 头以上,在蛹期区分性别分组羽化,以保证所用雌虫为处女雌;设正反交 ( $F_1: \text{WZ-R} \times \text{HLJ}$ ;  $F_1': \text{HLJ} \times \text{WZ-R}$ )、回交 ( $\text{BC}: F_1 \times \text{HLJ}$ ;  $\text{BC}: F_1' \times \text{HLJ}$ ) 及  $F_1$  自交 ( $F_2: F_1 \times F_1$ )。以点滴法测定亲本 (WZ-R、HLJ)、杂交  $F_1$ 、回交及自交后代的剂量反应曲线。按 Stone<sup>[10]</sup>报道的 Falconer 公式计算显性度 ( $D$ ),按 Kotze 和 Sales<sup>[11]</sup>、Georghiou<sup>[12]</sup>方法对回交和自交后代进行单个主基因假设的  $\chi^2$  分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 二化螟对杀虫单的抗性筛选

从 2001 年 5 月 ( $F_0$ ) 至 2004 年 2 月 ( $F_{23}$ ),室内累计饲养二化螟 24 代,除  $F_2$ 、 $F_{10}$ 、 $F_{12}$ 、 $F_{13}$ 、 $F_{14}$  未筛选外,期间共用杀虫单筛选 19 代。在开始筛选的前 3 代,与敏感基线相比,筛选种群 (WZ-R) 对杀虫单抗性水平小于 70 倍,与筛选前 ( $RR = 29.7$  倍) 相比仅上升不超过 1.3 倍,其中  $F_2$  代未筛选, $F_3$  代测得抗性水平有所回落;筛选 5 代后,抗性水平首次超过 100 倍 (142.2 倍),其后直至第 8 次筛选后抗性水平稳定在 100 倍以上,比筛选前上升 2.4 倍以上;

因  $F_{10}$ 、 $F_{12}$ 、 $F_{13}$ 、 $F_{14}$  未筛选,从  $F_{15}$  筛选情况 (剂量 11.2  $\mu\text{g}/\text{头}$ ,死亡率 82.2%) 来看,抗性下降明显 (抗性水平小于 39 倍); $F_{15} \sim F_{18}$  连续筛选 4 代后,抗性水平又恢复至 100 倍以上 (108.0 倍);再经  $F_{19}$ 、 $F_{20}$  两代筛选后,抗性达极高抗水平 (169.0 倍),又经 2 代筛选后抗性水平 > 1000 倍, $F_{24}$  测定为 774.5 倍,比筛选前上升 25.0 倍 (表 1)。

### 2.2 二化螟对杀虫单抗性的现实遗传力

按照 Tabashnik 等介绍的方法,计算了在室内饲养 24 代 ( $F_0 \sim F_{23}$ ) 二化螟期间用杀虫单不连续筛选 19 代二化螟的抗性现实遗传力 ( $h^2$ ),  $h^2$  为 0.343。在筛选前期 ( $F_3 \sim F_8$ ) 连续 6 代筛选估计的  $h^2$  较低 (0.230);而后期 ( $F_{19} \sim F_{23}$ ) 连续筛选 5 代的  $h^2$  较高,达 1.205;中期  $F_9 \sim F_{18}$  10 代中有 6 代用杀虫单筛选,4 代未筛选,据此估计的  $h^2$  很低,仅为 0.024 (表 2),比连续筛选的显著为低,说明间断筛选下杀虫单抗性发展很慢。

### 2.3 二化螟抗性品系对杀虫单的抗性遗传

采用 4 龄幼虫点滴法测定了杀虫单对抗性 (WZ-R) 和敏感 (HLJ) 亲本,以及它们的正反交后代  $F_1$ 、 $F_1'$  4 龄幼虫的毒力,其中 WZ-R、 $F_1$  及  $F_1'$  对杀虫单的抗性分别为 630.3、152.0 及 193.7 倍 (表 3),且正反交后代 ( $F_1$ 、 $F_1'$ ) 的  $LD_{50}$  线均靠近抗性亲本一侧、而明显远离敏感亲本 (图 1);按 Falconer 公式计算的显性度 ( $D$ ) 分别为 0.56 和 0.63 (表 3), $D$  值均界于 0 和 1 之间,上述结果表明 WZ-R 品系对杀虫单抗性属不完全显性遗传。

杀虫单对正反交后代 ( $F_1$ 、 $F_1'$ ) 4 龄幼虫的  $LD_{50}$  值大小相近,且它们的 95% 置信区间有明显重叠,说明两者间无显著差异 (表 3),且在杂交前的筛

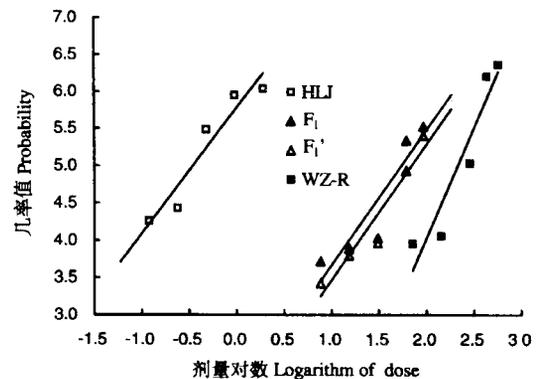


图 1 杀虫单对二化螟抗性 (WZ-R) 和敏感 (HLJ) 亲本及其正反交后代 ( $F_1$ 、 $F_1'$ ) 的毒力回归线

Fig. 1.  $LD_{50}$  lines for monosultap to the 4th instar larvae of parents (WZ-R, HLJ) and reciprocal cross  $F_1$ s.

表 1 杀虫单筛选的二化螟品系对杀虫单的敏感性变化

Table 1. Susceptibility variation in monosultap-selected *C. suppressalis* strain to monosultap.

| 筛选次数<br>No. of<br>selections | 繁殖代次<br>Generation | 处理虫数<br>Larvae treated | 平均存活率<br>Survival<br>rate / % | 斜率(标准误)<br>Slope<br>(SE) | 致死中量<br>$LD_{50}$<br>/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{larva}^{-1}$ ) | 抗性倍数 <sup>1)</sup><br>RR <sup>1)</sup> | 增长倍数 <sup>2)</sup><br>Increased<br>fold <sup>2)</sup> |
|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|--|---|
| 1                            | F <sub>0</sub>     | 697                    | 93.0                          | 2.754 (0.450)            | 8.476  | 29.7                                   | 0   |
| 2                            | F <sub>1</sub>     | 1470                   | 56.1                          | 3.142 (0.425)            | 19.578   | 68.7                                   | 1.3   |
| 3                            | F <sub>3</sub>     | 770                    | 60.0                          | 2.032 (0.322)            | 10.935   | 38.4                                   | 0.3   |
| 4                            | F <sub>4</sub>     | 1560                   | 30.3                          | 2.433 (0.372)            | 13.389   | 47.0                                   | 0.6   |
| 5                            | F <sub>5</sub>     | 1793                   | 67.4                          |                          |  |  |   |
| 6                            | F <sub>6</sub>     | 3054                   | 54.3                          | 1.901 (0.208)            | 40.509   | 142.2                                  | 3.8   |
| 7                            | F <sub>7</sub>     | 2543                   | 41.6                          |                          |  |  |   |
| 8                            | F <sub>8</sub>     | 2655                   | 53.2                          |                          | > 30.72  | > 107.8                                | > 2.6   |
| 9                            | F <sub>9</sub>     | 2760                   | 44.3                          | 3.993 (0.513)            | 28.736   | 100.9                                  | 2.4   |
| 10                           | F <sub>11</sub>    | 2635                   | 58.4                          |                          |  |  |   |
| 11                           | F <sub>15</sub>    | 2390                   | 33.5                          |                          |  |  |   |
| 12                           | F <sub>16</sub>    | 865                    | ND <sup>3)</sup>              |                          |  |  |   |
| 13                           | F <sub>17</sub>    | 1302                   | 68.5                          |                          |  |  |   |
| 14                           | F <sub>18</sub>    | 700                    | 68.1                          |                          |  |  |   |
| 15                           | F <sub>19</sub>    | 1176                   | 68.9                          | 3.160 (0.525)            | 30.759   | 108.0                                  | 2.6   |
| 16                           | F <sub>20</sub>    | 780                    | 76.2                          |                          |  |  |   |
| 17                           | F <sub>21</sub>    | 1560                   | 64.7                          | 3.170 (0.614)            | 48.134   | 169.0                                  | 4.7   |
| 18                           | F <sub>22</sub>    | 1050                   | 70.9                          |                          |  |  |   |
| 19                           | F <sub>23</sub>    | ND                     | > 0.9                         |                          | > 286.72   | > 1006.4                               | > 32.8  |
|                              | F <sub>24</sub>    |                        |                               | 2.826 (0.325)            | 220.655  | 774.5                                  | 25.0  |

<sup>1)</sup> 抗性倍数 = 筛选种群  $LD_{50}$  / HLJ 敏感品系  $LD_{50}$  (0.2849  $\mu\text{g}$  / 头)<sup>[5]</sup>; <sup>2)</sup> 抗性上升倍数 = (筛选后抗性倍数 / 筛选前抗性倍数) - 1;

<sup>3)</sup> ND - 无数据。

<sup>1)</sup> RR (resistance ratio) =  $LD_{50}$  for selected colony /  $LD_{50}$  for HLJ susceptible strain (0.2849  $\mu\text{g}$  / larva)<sup>[5]</sup>; <sup>2)</sup> Increased fold of resistance = (RR post-selection / RR pre-selection) - 1; <sup>3)</sup> ND, No data.

表 2 温州二化螟种群对杀虫单的抗性现实遗传力

Table 2. Estimation of realized heritability of resistance to monosultap in *C. suppressalis* from Wenzhou, Zhejiang Province.

| 筛选代数<br>No. of<br>generations<br>selected            | 平均每代选择反应                               |                                |                               | 平均每代选择差异                                   |                   |                    | 现实遗传力<br>Realized<br>heritability<br>( $h^2$ ) |                                   |
|--|--|--------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|--------------------|--|-----------------------------------|
|  | Mean selection response per generation |                                |                               | Mean selection differential per generation |                   |                    |  |                                   |
|  | 始 $LD_{50}$<br>Initial $LD_{50}$       | 终 $LD_{50}$<br>Final $LD_{50}$ | 选择反应<br>Selection<br>response | 平均存活率<br>Survival<br>rate / %              | 选择强度<br>Intensity | 平均斜率<br>Mean slope |  | 选择差异<br>Selection<br>differential |
| 6 (F <sub>3</sub> - F <sub>8</sub> ) <sup>1)</sup>   | 1.0388                                 | 1.4584                         | 0.0699                        | 50.6                                       | 0.7865            | 2.5898             | 0.3037   | 0.230                             |
| 6 (F <sub>9</sub> - F <sub>18</sub> ) <sup>2)</sup>  | 1.4584                                 | 1.4880                         | 0.0049                        | 54.4                                       | 0.7250            | 3.5770             | 0.2027   | 0.024                             |
| 5 (F <sub>19</sub> - F <sub>23</sub> ) <sup>1)</sup> | 1.4880                                 | 2.3437                         | 0.1711                        | 74.2                                       | 0.4333            | 3.0520             | 0.1420   | 1.205                             |
| 19 (F <sub>0</sub> - F <sub>23</sub> ) <sup>2)</sup> | 0.9282                                 | 2.3437                         | 0.0745                        | 61.6                                       | 0.6137            | 2.8234             | 0.2174   | 0.343                             |

<sup>1)</sup> 杀虫单连续筛选; <sup>2)</sup> 杀虫单非连续筛选。

<sup>1)</sup> Continuously selected with monosultap; <sup>2)</sup> Discontinuously selected with monosultap.

选过程中未发现性比异常,说明抗性属常染色体遗传。

正、反交 F<sub>1</sub> 代分别与敏感亲本 (HLJ) 回交,结果显示,回交 (BC、BC) 后代的杀虫单剂量反应曲线在几率值 5 附近均未出现明显平坡,与单个主基因假设的期望曲线不吻合 (图 2)。以单个主基因为假设进行的卡方 ( $\chi^2$ ) 测验显示,在回交 (BC、BC) 后代测定的 11 或 10 个剂量中,均有 7 个剂量的实际死

亡率与期望死亡率间差异显著 ( $\chi^2 > \chi^2_{0.05} = 3.841$ ,  $df = 1$ ), 回交 (BC、BC) 总的卡方 ( $\chi^2$ ) 差异也显著 ( $\chi^2 > \chi^2_{0.05} = 18.307$ ,  $df = 10$  和  $\chi^2 > \chi^2_{0.05} = 16.919$ ,  $df = 9$ ) (表 4)。

杀虫单对反交 F<sub>1</sub> 代自交的 F<sub>2</sub> 代 4 龄幼虫的剂量反应曲线,与单个主基因假设的期望曲线相差很大 (图 3), 卡方测验结果表明,在总共 11 个剂量中,有 8 个剂量的实测死亡率与期望死亡率间差异显

表 3 杀虫单抗性 (WZ-R) 和敏感 (HLJ) 亲本及正反交后代 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 4 龄幼虫的毒力

Table 3. Toxicity of monosultap to parents and F<sub>1</sub> progenies of reciprocal crosses between WZ-R and HLJ.

| 品系             | LD <sub>50</sub> (95%置信限)                               | 斜率 (标准误)      | 抗性倍数 <sup>1)</sup> | 显性度             |
|----------------|---|---------------|--------------------|-----------------|
| Strain         | LD <sub>50</sub> (95% FL) / (μg · larva <sup>-1</sup> ) | Slope (SE)    | RR <sup>1)</sup>   | D <sup>2)</sup> |
| HLJ            | 0.350 (0.255 ~ 0.460)                                   | 1.711 (0.256) | 1.0                |                 |
| WZ-R           | 220.655 (184.291 ~ 262.854)                             | 2.826 (0.325) | 630.3              |                 |
| F <sub>1</sub> | 53.208 (40.569 ~ 76.496)                                | 1.950 (0.330) | 152.0              | 0.56            |
| F <sub>2</sub> | 67.816 (52.391 ~ 99.180)                                | 1.982 (0.327) | 193.7              | 0.63            |

<sup>1)</sup> 抗性倍数 = 各品系 LD<sub>50</sub> / HLJ 敏感品系 LD<sub>50</sub>。

<sup>2)</sup> RR (resistance ratio) = LD<sub>50</sub> for any strain / LD<sub>50</sub> for HLJ susceptible strain; <sup>2)</sup> D, Degree of dominance.

表 4 二化螟抗性品系 WZ-R 对杀虫单抗性受单个主基因控制的回交和自交卡方(χ<sup>2</sup>) 测验

Table 4. Chi-square (χ<sup>2</sup>) test of response of backcrossed and F<sub>1</sub> self-crossed progenies to monosultap on the basis of single major gene model.

| 剂量 Dose<br>/ (μg · larva <sup>-1</sup> ) | BC |                | BC |                | F <sub>2</sub> |                |
|--|----|----------------|----|----------------|----------------|----------------|
|  | n  | χ <sup>2</sup> | n  | χ <sup>2</sup> | n              | χ <sup>2</sup> |
| 0.12                                     | 40 | 1.342          |    |                | 35             | 1.969          |
| 0.24                                     | 35 | 2.644          | 35 | 6.176 *        | 40             | 4.309 *        |
| 0.48                                     | 39 | 7.032 *        | 30 | 5.553 *        | 40             | 6.962 *        |
| 0.96                                     | 40 | 9.435 *        | 35 | 10.938 *       | 40             | 9.582 *        |
| 1.92                                     | 35 | 5.247 *        | 35 | 3.779          | 40             | 5.156 *        |
| 3.84                                     | 40 | 0.615          | 35 | 1.006          | 40             | 3.082          |
| 7.68                                     | 40 | 1.767          | 35 | 5.831 *        | 40             | 2.625          |
| 15.36                                    | 40 | 17.530 *       | 35 | 1.646          | 40             | 11.905 *       |
| 30.72                                    | 40 | 17.644 *       | 35 | 18.006 *       | 40             | 3.896 *        |
| 61.44                                    | 40 | 11.654 *       | 35 | 12.722 *       | 40             | 31.294 *       |
| 122.88                                   | 40 | 5.406 *        | 35 | 4.159 *        | 40             | 20.667 *       |
|  |    | = 80.315 #     |    | = 69.816 # #   |                | = 101.446 #    |

注: n - 试验的 4 龄幼虫数; \* 表示实际死亡率与期望死亡率差异显著 (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 3.841, df = 1); # 表示实际死亡率与期望死亡率差异显著 (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 18.307, df = 10); # # 表示实际死亡率与期望死亡率差异显著 (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 16.919, df = 9)。

Note: n, Number of the 4th instar larvae tested; \* Denotes significant difference between observed and expected mortalities (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 3.841, df = 1); # Denotes significant difference between observed and expected mortalities (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 18.307, df = 10); # # Denotes significant difference between observed and expected mortalities (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 16.919, df = 9).

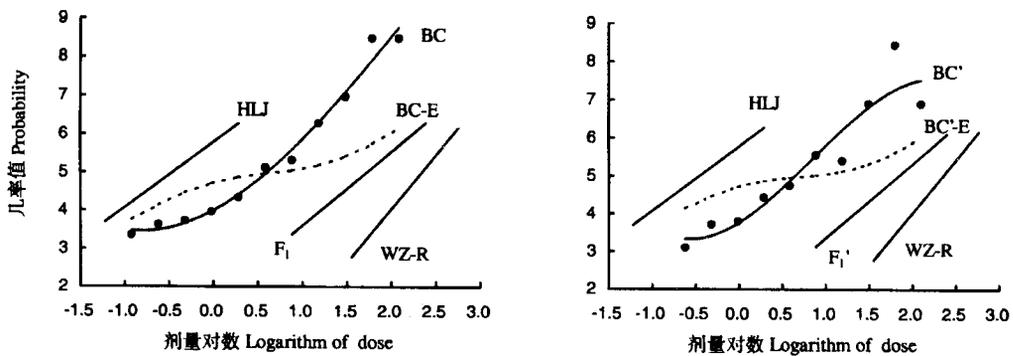


图 2 回交后代(BC、BC')对杀虫单的剂量反应曲线

Fig. 2. Dose-response curves of BC (F<sub>1</sub> × HLJ) and BC' (F<sub>1</sub> × HLJ) progenies to monosultap in resistance genetic analysis of WZ-R strain.

BC、BC' : 回交后代 (F<sub>1</sub> × HLJ) 和 (F<sub>1</sub> × HLJ) 实测曲线; BC-E、BC'-E: 单基因遗传的 BC、BC' 期望曲线。

BC, BC' : Tested curves for progenies of backcross to HLJ (F<sub>1</sub> × HLJ and F<sub>1</sub> × HLJ); BC-E, BC'-E: Expected curves of BC and BC' for monofactorial basis.

著 (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 3.841, df = 1), 总卡方 (χ<sup>2</sup>) 差异也显著 (χ<sup>2</sup> > χ<sub>0.05</sub><sup>2</sup> = 18.307, df = 10) (表 4)。

上述回交 (BC、BC') 和自交 (F<sub>2</sub>) 试验结果表明, 二化螟抗性品系 WZ-R 对杀虫单抗性属多基因

遗传。

### 3 讨论

本研究用于杀虫单抗性筛选的二化螟起始种群

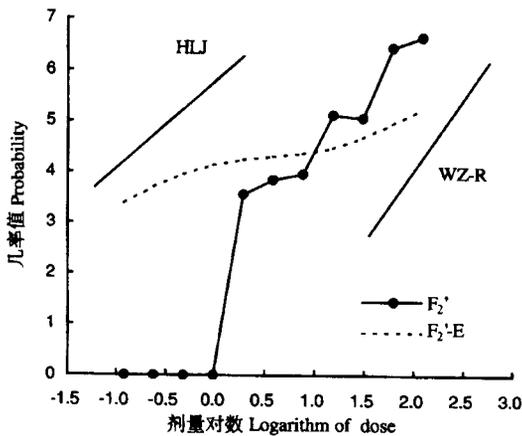


图3 自交后代对杀虫单的剂量反应曲线

Fig. 3. Dose-response curves of  $F_2$  progenies for monosultap in resistance genetic analysis of WZ-R strain.

$F_2$  - 自交( $F_1 \times F_1$ ) 实测曲线;  $F_2$ -E - 单基因遗传的  $F_2$  期望曲线。

$F_2$  , Tested curve of  $F_2$  ( $F_1 \times F_1$ ) progenies;  $F_2$ -E, Expected curve of  $F_2$  for monofactorial basis.

对杀虫单有中等水平抗性(29.7倍,表1),说明该群体中抗性基因频率已较高,根据群体遗传学理论,针对中频基因的选择效果最好<sup>[13]</sup>,而且 Tabashnik 和 McGaughey<sup>[9]</sup>发现一般筛选过程前半段估计的现实遗传力( $h^2$ )高于后半段;但在本实验筛选前期( $F_3 \sim F_8$ )连续6代筛选估计的 $h^2$ 较低(0.230),而后期( $F_{19} \sim F_{23}$ )连续筛选5代的 $h^2$ 较高,达1.205,原因之一可能与本实验筛选过程有间断有关,也可能与二化螟对杀虫单抗性受多基因控制有关,在不同阶段可能选择不同基因,还可能与适合度相关基因的选择重组有关,开始选择出的部分抗性基因型可能伴随适合度下降,遗传力低,经重组再选择,抗性一般与适合度因子共适应,抗性基因的有害作用被最大限度地减小<sup>[14]</sup>,后期的抗性个体适合度可能已大大提高。20世纪80年代初杀虫双(单)即在水稻上被大量使用,而田间二化螟对杀虫双(单)的抗性在1995年以前多在中等水平以下,抗性发展相对缓慢,但1998年后出现很多高抗性种群,抗性在部分地区呈暴发现象。作者在室内筛选中观察到的情况与田间情形有相似之处,但二化螟对杀虫单抗性是否伴随适合度下降还有待进一步研究。

在杀虫单抗性筛选中段( $F_9 \sim F_{18}$ ),10代中有4代未筛选,与前期或后期连续筛选相比 $h^2$ 很低,说明间断筛选下杀虫单抗性发展很慢,而且筛选暂停几代后抗性明显下降,这表明如果大田采用轮换或

间断用药可明显延缓抗性的发展,这对制定抗性治理方案具有重要的指导意义。

与程罗根等<sup>[15]</sup>研究估计的小菜蛾对杀虫双(单钠盐)抗性的现实遗传力(筛选119代, $h^2 = 0.03$ )相比,二化螟对杀虫单的抗性现实遗传力(筛选19代, $h^2 = 0.343$ )明显较高,这可能与不同虫种及筛选起始种群的敏感度有关。小菜蛾为敏感性田间种群,而本研究中二化螟为田间中等抗性种群;但二化螟对杀虫单的抗性遗传方式与小菜蛾对杀虫双(单钠盐)的抗性遗传方式<sup>[16]</sup>相似,均为多基因、常染色体、不完全显性遗传。

实验表明,二化螟 Hata-f 品系对杀螟硫磷<sup>[17]</sup>和瑞安品系对三唑磷<sup>[8]</sup>抗性均受单个主基因控制,而本研究发现二化螟对杀虫单抗性明显受多基因控制。生物化学和分子生物学的初步研究表明,二化螟对杀虫单抗性可能与多功能氧化酶<sup>[6]</sup>、GSTs 同工酶及 nAChR 靶标改变<sup>[7]</sup>等多种机制有关,这些抗性相关机制在遗传上可能受不同基因控制。通过分子生物学研究将抗性相关基因定位并克隆,是今后进一步研究二化螟对杀虫单抗性遗传的重要方面。

本研究表明,WZ-R 品系对杀虫单抗性为不完全显性,这在一定程度上说明在杀虫单抗性治理上不宜采用饱和和治理(即高剂量)策略。因为根据 Georghiou<sup>[18]</sup>的理论,抗性基因为隐性是实施该策略的必要前提之一。鉴于目前我国二化螟对杀虫双(单)抗性比较普遍,建议尽快实施以农业措施为基础、以科学轮换用药为关键的抗性综合治理。此外,双价转基因抗虫水稻(如MSA和MSB<sup>[19]</sup>)的研究成功将为二化螟对杀虫单和/或其他杀虫剂的抗性治理提供新的方法。

#### 参考文献:

- 1 方继朝,杜正文,程遐年. 水稻虫害上升态势与控害减灾对策分析. 昆虫知识, 1998, 35(4): 193-197.
- 2 苏建坤,刘怀阿,徐健,等. 江苏里下河地区水稻二化螟抗药性监测. 南京农业大学学报, 1996, 19(增刊): 28-33.
- 3 蒋学辉,章强华,胡仕孟,等. 浙江省水稻二化螟抗药性现状与治理对策. 植保技术与推广, 2001, 21(3): 27-29.
- 4 韩招久,韩召军,陈长琨,等. 二化螟对杀虫单和甲胺磷抗性监测及田间抗性动态. 植物保护学报, 2002, 29(1): 93-94.
- 5 曹明章,沈晋良,张金振,等. 二化螟抗药性监测和对三唑磷抗性的遗传分析. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 73-79.
- 6 李秀峰,韩召军,陈长琨,等. 二化螟对杀虫单等4种杀虫剂的抗药性. 南京农业大学学报, 2001, 24(1): 43-46.
- 7 韩招久. 二化螟对杀虫单和甲胺磷的抗性机理及神经靶标乙酰

- 胆碱受体的基因克隆[学位论文]. 南京:南京农业大学, 2002.
- 8 尚稚珍,王银淑,邹永华. 二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报, 1979, 22(2): 164 - 168.
  - 9 Tabashnik B E, McCaughey W H. Resistance risk assessment for single and multiple insecticides: responses of indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis*. *J Econ Entomol*, 1994, 87(4): 834 - 841.
  - 10 Stone B F. A formula for determining degree of dominance in cases of monofactorial inheritance of resistance to chemicals. *Bull WHO*, 1968, 38(2): 325 - 326.
  - 11 Kotze A C, Sales N. Inheritance of diflubenzuron resistance and monooxygenase activities in a laboratory-selected strain of *Lucilia cuprina* (Diptera: Calliphoridae). *J Econ Entomol*, 1994, 94(5): 1243 - 1248.
  - 12 Georghiou G P. Genetics of resistance to insecticides in house flies and mosquitoes. *Exp Parasitol*, 1969, 26(2): 224 - 255.
  - 13 郭平仲. 群体遗传学导论. 北京:农业出版社, 1993.
  - 14 Roush R T, McKenzie J A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Ann Rev Entomol*, 1987, 32: 361 - 380.
  - 15 李凤良,程罗根,韩招久,等. 小菜蛾对杀虫双的抗性遗传研究. 植物保护学报, 1998, 25(4): 345 - 350.
  - 16 程罗根,李凤良,韩招久,等. 小菜蛾对杀虫双和杀螟单抗性的现实遗传力. 昆虫学报, 2001, 44(3): 263 - 267.
  - 17 Konno Y, Shishido T. Inheritance of resistance to fenitrothion and pirimiphos-methyl in rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Appl Ent Zool*, 1991, 26(4): 535 - 541.
  - 18 Georghiou G P. Management of resistance in arthropods. In: Georghiou G P, Saito T. Pest Resistance to Pesticides. New York: Plenum Press, 1983. 769 - 792.
  - 19 李冬虎,傅强,王锋,等. 转 *sck/cry1Ac* 双基因抗虫水稻对二化螟和稻纵卷叶螟的抗虫效果. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 43 - 47.

## 欢迎订阅 2006 年《果树学报》

《果树学报》是中国农业科学院郑州果树研究所主办的国家级学术期刊,中文园艺学核心期刊,中国科技核心期刊。《果树学报》着重选发紧密结合我国果树科研、教学、生产实际,反映学科学术水平和动向的优秀稿件,及时报道重大科研成果、阶段性成果和科研进展情况。栏目设置有研究论文、专论与综述、研究报告、技术与方法、新品种选育快报及信息快递等;内容包括生物技术、品种与种质资源、生理与栽培、土壤与肥料、植物保护、贮藏加工等。读者对象为果树学科的科研人员、高等农业院校师生及基层果树管理技术人员。

《果树学报》为双月刊,128页,每期定价15.00元,全年90.00元。邮发代号:36-93,国外代号:BM/1107。

编辑部地址:郑州市航海东路南中国农业科学院郑州果树研究所;邮编:450009;电话:0371-65330927,65330928;传真:0371-65330982;E-mail:chinagsxb@163.com。

## 欢迎订阅 2006 年《贵州农业科学》

《贵州农业科学》(CN 52-1054/S, ISSN 1001-3601)是贵州省农业科学院主办的综合类农业学术期刊,为中国科技核心期刊。主要报道各级农业科研单位、农业院校和农业生产第一线的主要研究成果,大面积高产工程的技术措施,种养业、产品加工业增值技术;报道贵州省宏观农业的发展战略与对策、农业产业化、计算机技术在农业中的应用以及持续农业的发展等。设置研究报告、调查报告、研究简报、专论与综述、农业资源开发、农产品加工与贮藏、新品种·新技术·新方法和农业科技讲座、农业专家、重大项目主持人及项目介绍以及产品信息、科技动态、来稿摘登等栏目。读者范围:大中专院校师生、科研院所研究人员以及基层农业技术推广人员。

《贵州农业科学》为双月刊,双月15日出版。大16开本,每期定价5.00元,全年30.00元。全国各地邮政局(所)均可订阅,邮发代号:66-6;也可汇款到编辑部订阅。编辑部备有精装合订本(每册50.00元),欢迎来函订购。

地址:贵阳市小河区贵州省农业科学院科技信息研究所《贵州农业科学》编辑部;邮编:550006;电话:(0851)3760719;3761720(传真);E-mail:gznk@263.net。